

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
UCRN – UTILIZAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS

Mari Angela Machado

**CARACTERIZAÇÃO DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA
POR TÉCNICAS MINERALÓGICAS NO BAIRRO BELCHIOR BAIXO,
GASPAR, SC**

Dissertação de Mestrado apresentada
como requisito ao Programa de Pós-
Graduação em Geografia,
Universidade Federal de Santa
Catarina – UFSC. Área de
Concentração: Utilização e
Conservação de Recursos Naturais.
Linha de Pesquisa: Processos
geológicos e geomorfológicos e
desastres naturais.
Orientador: Prof. Dr. Juan Antonio
Altamirano Flores

Florianópolis
2013

M149c Machado, Mari Angela

Caracterização dos movimentos gravitacionais de massa por técnicas mineralógicas no Bairro Belchior Baixo, Gaspar, SC [dissertação] / Mari Angela Machado ; orientador, Juan Antonio Altamirano Flores - Florianópolis, SC, 2013.

128 p. ; 21cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Inclui referências

1. Mineralogia. 2. Belchior Baixo. 3. Movimentos gravitacionais de massa. I. Flores, Juan Antonio Altamirano . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU 91

AGRADECIMENTOS

Agradeço à CAPES pelo auxílio durante o segundo ano desta pesquisa, à FAPESC pelos recursos para a execução do projeto do qual esta pesquisa faz parte e ao Programa de Pós-graduação em Geografia da UFSC.

Agradeço ao CEPED/UFSC pelos dados disponibilizados, e também pela oportunidade de desenvolver trabalhos relacionados ao meu tema de estudo.

Agradeço ao Professor Juan Antonio Altamirano Flores pelo seu apoio e dedicação na orientação desta pesquisa.

Aos Professores Joel, Ricardo e Edison por aceitarem o convite de participar da banca.

Agradeço aos meus pais pelo apoio e por acreditarem em mim.

Ao Gilvan pelo apoio e incentivo e por estar presente nos momentos em que precisei.

Às amigas Ana Carol, Janaína, Gerly e Marta pelo apoio, sobretudo nesta última etapa do trabalho

Ao colega Henrique pela ajuda no geoprocessamento e à Graziela Bonin pelo apoio na formatação deste trabalho.

Aos meus colegas do mestrado que compartilharam desta fase da minha vida.

A todos os meus colegas do CEPED, pelas trocas e pelo companheirismo.

A todas as pessoas cujos nomes não foram citados, mas que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho, muito obrigada.

Qualquer sonho é ficção e qualquer realização é ciência. A história da humanidade não é nada mais que ficção científica.

Ray Bradbury

RESUMO

Nos últimos meses do ano de 2008 o estado de Santa Catarina vivenciou uma série de fenômenos meteorológicos intensos que causaram enchentes e deslizamentos. A área estudada se localiza no município de Gaspar, Vale do Itajaí - SC, região mais atingida pelos eventos adversos. A localidade foi afetada por movimentos gravitacionais de massa que ocasionaram a destruição de residências, gerando danos materiais e humanos. O objetivo principal da pesquisa foi responder sobre a relação existente entre o substrato rochoso com os movimentos de massa ocorridos na encosta e com o comportamento do material deslizado. Além disso, havia questões relacionadas com a segurança de outro setor da mesma encosta.

A metodologia do trabalho consistiu na coleta de amostras de solo e na realização de ensaios de Difração de Raios X(DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). As análises tiveram como finalidade caracterizar a composição mineralógica e textural do material deslizado, visando compreender o seu comportamento extremamente plástico preservado por meses em locais soterrados. Para examinar a possível existência de estruturas que favoreceram a ruptura e determinar a espessura dos solos residuais da encosta estudada foi realizado um perfil geofísico de eletrorresistividade. Os resultados obtidos pelas análises de DRX e de MEV corroboraram com as observações feitas sobre o comportamento do material deslizado e das características geológico-geomorfológicas da área de estudo. A presente pesquisa pretende subsidiar futuros projetos destinados à urbanização, políticas de ocupação do solo, desenvolvimento de programas de redução de riscos de desastres e programas de prevenção e mitigação a áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa.

Palavras-chave: Belchior Baixo. Movimentos Gravitacionais de massa. Mineralogia.

ABSTRACT

In the last months of 2008 the state of Santa Catarina has experienced a series of severe weather events that have caused flooding and landslides. The study area is located in the municipality of Gaspar, Vale do Itajaí - SC, the region most affected by adverse events. The locality was affected by gravitational mass movements that caused the destruction of homes, causing property damage and human. The main objective of the research was to seek answers about the relationship between the bedrock and mass movements occurred on the slope and the slid material behavior. In addition, there were issues related to the safety of another sector of the same slope. The methodology of the work consisted of collecting soil samples and testing of X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The analysis had as purpose to characterize the textural and mineralogical composition of the slid material in order to understand its behavior extremely plastic, which was preserved for months in buried places. To examine the possible existence of structures that favor the rupture and determine the thickness of residual soil on the slope under studies, a geophysical resistivity profile was carried out. The results obtained through XRD and SEM corroborated with the observations made on the behavior of the slid material, and the geological and geomorphological characteristics of the study area. This research aims to support future projects for urbanization, land use policies, development of programs to reduce disaster risk and prevention programs, and mitigation in areas susceptible to gravitational mass movements.

Keywords: Belchior Baixo. Mass movement. Mineralogy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição dos municípios que decretaram situação de emergência e de estado de calamidade pública em novembro de 2008.	19
Figura 2 - Classificação dos movimentos gravitacionais de massa conforme o grau de umidade e velocidade	25
Figura 3 - Representação de fluxo de lama com amplo alcance em uma planície.	26
Figura 4 - Representação de encosta sendo afetada por processo de rastejo. Na figura podemos observar as árvores e outras estruturas inclinadas.	27
Figura 5 - Desenho representando a queda de blocos rochosos.	27
Figura 6 - Deslizamento do tipo rotacional representado pela movimentação de grande quantidade de massa em ruptura curva e côncava.	28
Figura 7 - Deslizamento do tipo Translacional (ou planar)	29
Figura 8 - Curvas Granulométricas do solo estudado	31
Figura 9 - Estrutura da folha unitária da caolinita	33
Figura 10 - Localização da área de estudo	35
Figura 11 – Recorte da geologia da área de estudo extraído do Mapa Geológico Itajaí, escala 1:100.000.	36
Figura 12 - Delimitação da sub-bacia onde está inserida a encosta estudada.	39
Figura 13 - imagem datada de maio de 2008 da propriedade atingida. A edificação na base da encosta corresponde ao galpão e edificação abaixo corresponde à residência	40
Figura 14 - Foto do que restou da residência atingida pelo primeiro movimento de massa	41
Figura 15 - Esquema representando os movimentos de massa que afetaram a localidade.	42
Figura 16 - moradores do bairro no setor em que foram acumulados os destroços do galpão e onde foi encontrado o corpo do idoso	43
Figura 17 - Área de estudo antes do evento, em outubro de 2006	43
Figura 18 - Área de estudo depois do evento, em maio de 2009. O detalhe tracejado indica a zona de alcance do material movimentado.	44
Figura 19 - Imagem de satélite do dia 22/11/2008.	49

Figura 20 - Registros de novembro e respectivos anos de ocorrência (estações da Epagri e ANA - Agência Nacional de Águas).....	50
Figura 21 - Média de chuvas para o mês de novembro em Blumenau – SC	51
Figura 22 - Resistivímetro utilizado na realização do levantamento geofísico	56
Figura 23 - Desenho esquemático: geofísica de eletrorresistividade ...	57
Figura 24 - Desenho esquemático do perfil do ensaio de geofísica de eletrorresistividade	57
Figura 25 – Peneiramento da amostra BB01	61
Figura 26 - Preparação do suporte porta-amostras (<i>stub</i>) para futura metalização	62
Figura 27 - (A) Stubs montados com as amostras; (B) Dissecador empregado para conservar as amostras até o momento da metalização; (C) Metalizador	62
Figura 28 – Microscópio Eletrônico de Varredura	63
Figura 29 - Solo siltico-argiloso transportado, relacionado com o fluxo de lama situado na borda leste do deslizamento principal	66
Figura 30 - Vista geral do topo do anfiteatro do grande deslizamento	67
Figura 31 - Detalhe do horizonte C com foliação remanescente do granulito gnáissico	67
Figura 32 - Ravina situada em gnaíse granulítico	68
Figura 33 - Cicatriz do deslizamento que provocou o óbito de duas pessoas.....	69
Figura 34 - Coleta de amostra no Horizonte A do ponto 06	69
Figura 35 - Coleta de amostra do Horizonte B.....	70
Figura 36 - Coleta de amostra do Horizonte C na cicatriz do deslizamento.....	70
Figura 37 - Fundos da residência destruída pelo deslizamento de material sedimentar.....	71
Figura 38 - Material conglomerático situado nos fundos da residência destruída	72
Figura 39 - Bloco de arenito de aspecto “sal e pimenta” com alteração esferoidal	73
Figura 40 - Corte de estrada expondo o arenito coberto por níveis conglomeráticos.....	74
Figura 41 - Falha no arenito “sal e pimenta”	75
Figura 42: Em detalhe os seixos de quartzo em arenito alterado	76

Figura 43 - Detalhe do contato entre o arenito e o conglomerado	77
Figura 44 - Contato entre o arenito bordô e o conglomerado.....	78
Figura 45 - Em detalhe, o conglomerado encontrado no ponto 13	78
Figura 46 - Corte de estrada expondo o conglomerado	79
Figura 47 - Falha onde se encontra a ravina. Direção S15°W e 60°NW – rejeito vertical de 1,20 m	80
Figura 48 – Detalhe da falha onde se encontra a ravina. Direção S15°W e 60°NW – rejeito vertical de 1,20 m	80
Figura 49 - Conglomerado petromítico com seixos de quartzito.....	81
Figura 50 - Conglomerado petromítico com seixos arredondados de quartzito e rochas magmáticas	82
Figura 51 - Conglomerado petromítico com seixos de quartzito.....	82
Figura 52: Detalhe da rocha (conglomerado) presente na área de estudo.....	85
Figura 53 - Localização do caminhamento elétrico 01 (CE 01) e caminhamento elétrico 02	86
Figura 54 – Resistividades apresentadas no Caminhamento Elétrico CE01.....	86
Figura 55: Interpretação dos valores de resistividade do CE01	87
Figura 56 – Resistividades apresentadas no Caminhamento Elétrico CE02.....	88
Figura 57 – Interpretação dos valores de resistividade do CE02	88
Figura 58 - Fotomicrografia em que se observa um agregado de minerais ferromagnesianos e opacos que constituem níveis bandados no granulito	89
Figura 59 - Fotomicrografia de um cristal de hiperstênio. Mineral típico da fácies granulito	90
Figura 60 - Difratoograma de Mineralogia Total da amostra BB01	91
Figura 61 - Difratoograma de amostra orientada BB01.	92
Figura 62 - Difratoograma de amostra total BB02 horizonte A.....	93
Figura 63 - Difratoograma de amostra orientada BB02 horizonte A.	93
Figura 64 - Difratoograma de amostra total BB02 horizonte B.....	94
Figura 65 - Difratoograma de amostra orientada BB02 horizonte B.....	95
Figura 66 - Difratoograma de amostra total BB02 horizonte C.....	96
Figura 67 - Difratoograma de amostra orientada BB02 horizonte C.....	96
Figura 68 - Difratoograma de amostra não orientada BB06 horizonte A	97
Figura 69 - Difratoograma de amostra não orientada BB06 horizonte B.	98

Figura 70 - Difratoograma de amostra não orientada BB06 horizonte C 98	
Figura 71 - Difratoograma de amostra orientada BB06 horizonte A.	99
Figura 72 - Difratoograma de amostra orientada BB06 horizonte B. ...	100
Figura 73 - Difratoograma de amostra orientada BB06 horizonte C. ...	100
Figura 74 - Difratoograma de amostra não orientada BB07 horizonte A	101
Figura 75 - Difratoograma de amostra orientada BB07 horizonte C	102
Figura 76 – (a, b, c) Indivíduos de caolinita de hábito lamelar característico com tamanhos variados.	103
Figura 77 - Espectro da microanálise química por energia dispersiva da amostra coletado no Ponto 1.	103
Figura 78 – Indivíduo de aproximadamente 200 µm envolto de partículas de menor dimensão; (b) e (c) detalhes das lamelas dos cristais descamados.	104
Figura 79 – (a) Cristais com diferentes tamanhos; (b) presença de clivagem; (c) detalhe do plano de clivagem (empilhamento das lamelas).....	105
Figura 80. Cristais de caolinita com ângulos bem definidos (a) e formas delicadas, com placas muito finas (b).	106
Figura 81- (a) Cristais irregulares; (b) aumento do espaçamento entre os cristais.....	106
Figura 82 - (a) Cristais de caolinita de hábito lamelar; (b) placas muito finas, com tendência a enrolar nas bordas.	107
Figura 83 - Cristal lamelar de caolinita de aproximadamente 150 µm de comprimento de provável origem hidrotermal.	107
Figura 84 - Cristais diminutos de caolinita com presença de maior porosidade.	108
Figura 85 - Espectro da microanálise química por energia dispersiva. Predomínio do Al e Si e presença de Fe que atua como pigmento nos solo estudado.....	109
Figura 86 - Cristais observados na amostra de horizonte B do ponto 06 (BB06HB). (a) e (b) Cristais anédricos a subédricos de caolinita constituindo agregados de forma equidimensional.	109
Figura 87 - Espectro da microanálise química por energia dispersiva da amostra BB06HB.	110
Figura 88 - (a, b e c). Detalhes dos agregados equidimensionais de caolinita da amostra BB06HC.....	111

Figura 89 - Espectro da microanálise química por energia dispersiva da amostra BB06HC.	111
---	-----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	21
1.2	PROBLEMÁTICA DA PESQUISA	22
1.3	OBJETIVOS	22
1.3.1	Objetivo Geral	22
1.3.2	Objetivos Específicos	22
2	FUNDAMENTOS DA PESQUISA/CONCEITOS BÁSICOS	23
2.1	DESASTRES	23
2.2	MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA	24
2.3	ANÁLISE PETROGRÁFICA	29
2.4	DEFINIÇÃO DE CLASSIFICAÇÃO DOS ARGILOMINERAIS	30
2.4.1	Argilomineral Caolinita	33
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	35
3.1	GEOLOGIA REGIONAL	36
3.2	GEOMORFOLOGIA REGIONAL	37
3.3	CARACTERIZAÇÃO DA ENCOSTA	39
3.4	GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO	44
3.5	DESCRIÇÃO DO FENÔMENO METEOROLÓGICO	49
4	METODOLOGIA DA PESQUISA	55
4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS BIBLIOGRÁFICOS E CARTOGRAFICOS	55
4.2	LEVANTAMENTO GEOFÍSICO POR ELETORRESISTIVIDADE	55
4.3	TRABALHOS DE CAMPO	58
4.4	TRABALHOS DE LABORATÓRIO	58
4.4.1	Análise Petrográfica	58
4.4.2	Análises por Difração de Raios X	59
4.4.3	Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	61

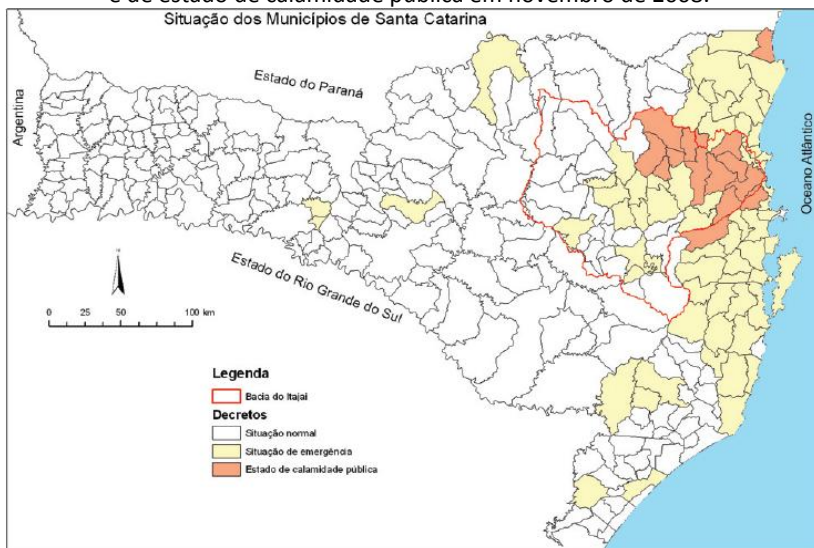
4.5	GEOPROCESSAMENTO	63
4.6	ANÁLISE, SISTEMATIZAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS	63
4.7	ELABORAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	63
5	RESULTADOS OBTIDOS.....	65
5.1	TRABALHO DE CAMPO E MAPEAMENTO GEOLÓGICO	65
5.2	LEVANTAMENTO GEOLÓGICO E GEOFÍSICO	85
5.3	ANÁLISE PETROGRÁFICA	89
5.4	ANÁLISE POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)	90
5.5	ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	102
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	113
7	CONCLUSÕES	117
	REFERÊNCIAS.....	123

1 INTRODUÇÃO

No final do ano de 2008, ocorreu em Santa Catarina uma série de eventos atmosféricos intensos com repercussões calamitosas atingindo principalmente os municípios do baixo e médio vale do Itajaí, onde 14 municípios decretaram estado de calamidade pública e 63 decretaram situação de emergência (Figura 1).

Entre os dias 22 a 23 de novembro, as fortes chuvas causaram inundações bruscas e desencadearam um grande número de deslizamentos em encostas e cortes de talude. Estas adversidades ocasionaram a destruição de numerosas residências, causando danos materiais e perdas de vidas humanas. Conforme relatório do Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina as áreas mais afetadas correspondem aos municípios de Ilhota (41 óbitos), Blumenau (24 óbitos), Gaspar (17 óbitos), Luis Alves (10 óbitos), Rodeio (4 óbitos) e Benedito Novo (2 óbitos).

Figura 1 - Distribuição dos municípios que decretaram situação de emergência e de estado de calamidade pública em novembro de 2008.



Fonte: SEVEGNANI; FRANK, 2009.

A área de estudo, localizada no município de Gaspar, no bairro Belchior Baixo, foi afetada por quatro movimentos gravitacionais de massa, sendo que um deles provocou o óbito de duas pessoas.

Eventos como estes fazem parte do registro histórico do estado, cujas características climáticas, relacionadas com suas condicionantes geológicas e geomorfológicas contribuem para a existência de grande possibilidade de ocorrência de futuros eventos catastrófica na região.

Fenômenos como este fazem parte da dinâmica natural do planeta, no entanto o adensamento populacional intensifica essa dinâmica, e a presença humana nas áreas de risco faz com que estes eventos sejam caracterizados como desastres.

Neste trabalho foi utilizado o conceito de que desastres são eventos adversos causados, ou não pela ação antrópica, atuando sobre um sistema vulnerável, causando danos a uma determinada população.

De acordo com o Emergency Events Database (EM-DAT), que possui registros de desastres do mundo inteiro no período entre 1900 e 2011, o número de ocorrências desses eventos vem aumentando nos últimos 50 anos.

Entretanto, o incremento no número de ocorrências registradas pode não significar um incremento real no número de desastres.

O aumento da vulnerabilidade da sociedade humana frente aos eventos adversos, decorrente do aumento da população mundial, se constitui em fator desencadeador de desastres.

No caso brasileiro, com o consequente adensamento populacional, mais pessoas têm se fixado em áreas impróprias para habitação, áreas de equilíbrio dinâmico tais como margens de cursos d'água, encostas íngremes, entre outras.

Além disso, a evolução dos mecanismos de registro e monitoramento de desastres naturais tem sido aprimorada ao longo das últimas décadas, contribuindo para o aumento do número de ocorrências observadas e registradas.

Por fim, com a globalização da informação, o tema dos desastres se tornou recorrente na mídia, contribuindo para a construção da percepção pela população de que os eventos têm se tornado cada vez mais frequentes.

Esta dissertação tem como questões norteadoras a relação entre a composição do substrato rochoso e do perfil de solo formado

da alteração destas rochas com as rupturas ocorridas na encosta sinistrada e com o comportamento do material deslizado.

Uma perfilagem geofísica foi executada para obter dados mais concretos sobre a segurança do restante da encosta.

Nesta dissertação foi estudada a composição mineralógica do perfil de solo em cicatrizes e em material deslizado por técnicas de difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura. Por meio destas técnicas e interpretações de dados geológicos e geomorfológicos foi possível interpretar a evolução dos eventos de novembro e dezembro de 2008 que modificaram de forma marcante o relevo da sub-bacia de Belchior Baixo.

1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Este trabalho faz parte de um projeto maior, intitulado Mapeamento Geológico e Geomorfológico para determinação de Áreas de Risco no Complexo do Morro do Baú – GCN/UFSC. Assim como outros grupos técnicos, o projeto foi criado posteriormente aos eventos de novembro 2008 em virtude da necessidade de estudos mais aprofundados sobre desastres naturais. Embora o Estado tenha em sua história a ocorrência de acontecimentos semelhantes, há poucos estudos que integram as informações acerca da geologia, climatologia, entre outras disciplinas.

A caracterização da morfologia e a composição das rochas e solos que ocorrem no Belchior baixo são fundamentais para elucidar os processos que provocaram os deslizamentos. Na área estudada, informações desta natureza são escassas, ou até mesmo inexistentes. Sendo assim, a elaboração da presente dissertação poderá contribuir para o conhecimento dos aspectos geológico-geomorfológicos da área, e subsidiar futuros projetos destinados à urbanização, políticas de ocupação do solo, desenvolvimento de programas de redução de riscos de desastres e programas de prevenção e mitigação de áreas suscetíveis a deslizamentos.

1.2 PROBLEMÁTICA DA PESQUISA

O Estado de Santa Catarina possui registro de condições atmosféricas intensas desde o século XIX. Estes eventos climáticos, associados com as condicionantes geológicas, pedológicas e ao crescimento populacional em áreas íngremes, margens de cursos d'água, têm tomado proporções catastróficas. (FLORES, J. A. A.; PELLERIN, J. R. G. M.; ÉGAS, H. M., 2009; HERMANN M. L. P.; PELLERIN, J. R. G. M.; SAITO, S. M., 2005).

O desastre ocorrido em Santa Catarina no final do ano de 2008 atingiu grande parte do Vale do Itajaí, ocasionando enchentes, inundações e movimentos gravitacionais de massa.

De acordo com o CEPED UFSC (BRASIL, 2009) embora tenha sido observado que parte dos eventos esteve, de alguma forma, relacionado à ação antrópica, boa parte ocorreu em áreas de encostas naturais e morros cobertos de vegetação nativa.

Em termos geomorfológicos, como também mineralógicos, a experiência adquirida e acumulada na avaliação na região do Vale do Itajaí tende a mostrar que alguns lugares são mais suscetíveis a movimentos de massa que outros (BRASIL, 2009).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Caracterizar movimentos gravitacionais de massa ocorridos nos eventos extremos de novembro de 2008 no Bairro Belchior Baixo, Gaspar, SC.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Comparar as alterações na paisagem desencadeadas pelo evento de novembro de 2008 por meio de imagens digitais;
- Caracterizar a composição mineralógica dos solos e sua relação com os movimentos gravitacionais de massa ocorridos na área
- Verificar por método geofísico o nível de segurança da encosta

2 FUNDAMENTOS DA PESQUISA/CONCEITOS BÁSICOS

Este capítulo é destinado à revisão bibliográfica pertinente ao tema e a área de estudo.

2.1 DESASTRES

Fenômenos naturais como inundações, escorregamentos, secas, furacões e ressacas fazem parte da dinâmica terrestre e atmosférica. A ocorrência destes fenômenos é um dos mecanismos responsáveis pelo processo de modificação da paisagem, que está em constante evolução. Esses processos, portanto, fazem parte da história do nosso planeta que busca um equilíbrio dinâmico e não estático.

No entanto, quando as comunidades humanas passam a ocupar a superfície terrestre esses fenômenos naturais são responsáveis por consequências catastróficas, resultando em danos sociais, econômicos e ambientais. Conforme Suguio (1998) a presença do ser humano no espaço físico constitui a razão da existência dos “perigos naturais” (*natural hazards*). Esta concepção também é explicitada por Alcântara-Ayala (2002) que acredita que a presença humana e sua interação com a natureza transformou os eventos geofísicos em desastres naturais.

Dessa forma, quando um evento natural causa impactos às populações humanas e em seu ambiente este evento denomina-se desastre natural.

Conforme UN-DHA e IDNDR (1992) desastre é “Uma grave interrupção no funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade causando danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais generalizados que excedem a capacidade da comunidade afetada ou sociedade de lidar com seus próprios recursos”.

Para Alcântara-Ayala (2002) “Riscos naturais são eventos ameaçadores, capazes de causar danos ao meio físico e social onde eles acontecem, não somente no momento da sua ocorrência, mas a longo prazo devido às suas consequências associadas. Quando essas consequências têm um grande impacto na sociedade e / ou na infraestrutura, eles se tornam Desastres naturais”.

Sendo assim, podemos concluir que os desastres naturais ocorrem em qualquer lugar do mundo, no entanto seus impactos são

maiores onde há maior vulnerabilidade sócio-econômica e a população e/ou o governo tem menor capacidade de resiliência.

2.2 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Como abordado no subitem 2.1, a paisagem da superfície terrestre está em constante modificação.

As mudanças de forma das paisagens estão relacionadas aos processos dominantes de intemperismo, erosão e movimentos de massa. Esses processos, por sua vez, refletem as interações existentes entre os agentes morfogênicos, como a geologia, atividades tectônicas e dinamismos atmosféricos, hidrológicos, climatológicos e biológicos (MELO, 2005).

Os agentes dos processos que atuam na evolução das formas de relevo agem na estabilização dos terrenos, formando áreas propícias para habitação e outras atividades econômicas, como a prática agrícola (AUGUSTO FILHO; VIRGILLI, 1998).

Embora sejam fenômenos naturais contínuos, de dinâmica externa, os movimentos gravitacionais de massa destacam-se dos demais fenômenos modeladores da paisagem pelos grandes danos causados às populações. Dos desastres naturais que afetam a humanidade, os prejuízos causados por movimentos gravitacionais de massa são inferiores apenas aos causados por terremotos e inundações. Por este motivo os movimentos de massa constituem objeto de estudo de planejadores, gestores e pesquisadores de áreas diversas (FERNANDES; AMARAL, 1998).

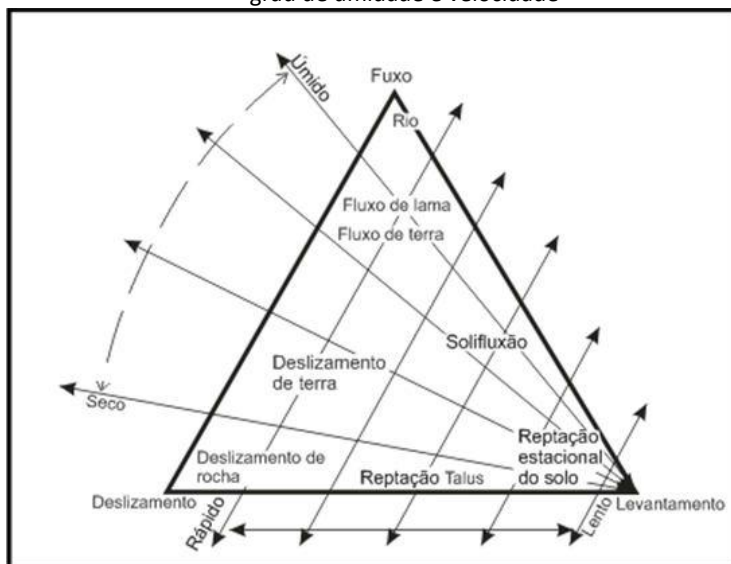
Outra razão pela qual os movimentos de massa se sobressaem entre outros processos e fenômenos é sua complexidade de causas e mecanismos, a variabilidade de materiais envolvidos e fatores condicionantes. Dessa forma, é por meio desse grande número de variáveis que os movimentos de massa são classificados.

Os critérios comumente utilizados na classificação dos movimentos de massa levam em consideração o tipo de material, a velocidade e o mecanismo do movimento, o modo de deformação, a geometria da massa movimentada e o conteúdo de água (SELBY, 1993 apud FERNANDES; AMARAL, 1998).

Conforme Guimarães et al. (2008) dentre as inúmeras classificações já desenvolvidas, destacam-se as de Sharpe (1938),

Carson e Kirkby (1972), Varnes (1978), Guidicini e Nieble (1984), Sassa (1989) e IPT (1991). Na Figura 2 temos a classificação de movimentos de massa proposta por Carson e Kirkby (apud GUIMARÃES et al., 2008) que utiliza os critérios de grau de umidade e velocidade de deslocamento da massa.

Figura 2 - Classificação dos movimentos gravitacionais de massa conforme o grau de umidade e velocidade



Fonte: Guimarães et al. (2008), modificado de Carson e Kirkby.

Finalmente, de acordo com esses autores, os movimentos gravitacionais de massa são classificados em:

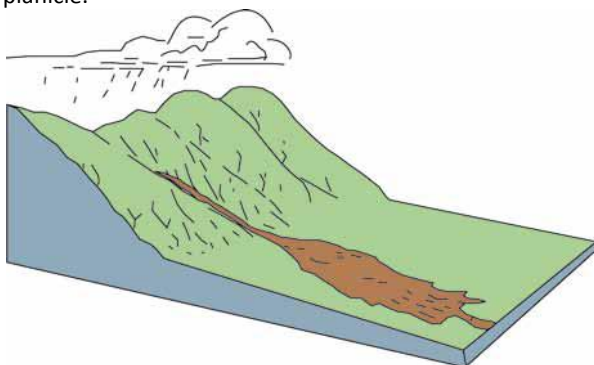
Corridas/fluxos (de lama e/ou detritos), rastejos, quedas e deslizamentos (translacionais e rotacionais).

As corridas (ou fluxos) são movimentos de massa rápidos, que se comportam como fluidos viscosos capazes de mobilizar um grande volume de material. Estes movimentos de massa estão geralmente associados a grande concentração de fluxos de água superficiais, comuns a eventos pluviométricos de alta intensidade, como representado na Figura 3.

A origem deste tipo de movimento de massa se dá quando um grande aporte de material como solo, rocha e também árvores atingem

um ou mais canais de drenagem. Sua característica mais marcante é a de poder atingir grandes distâncias muito rapidamente, mesmo em áreas planas, o que lhe confere um alto poder de destruição, sendo por este motivo, consideradas mais prejudiciais que os deslizamentos (TOMINAGA et al., 2011; FERNANDES; AMARAL, 1998; CARVALHO, 2007).

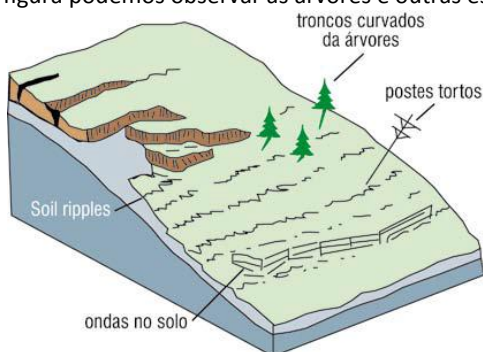
Figura 3 - Representação de fluxo de lama com amplo alcance em uma planície.



Fonte: HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008.

Os rastejos são movimentos lentos e contínuos cujo deslocamento resultante é na ordem de centímetros ou milímetros por ano. Embora envolva grande quantidade de massa, este movimento não é caracterizado por uma superfície de ruptura definida e as evidências de sua ocorrência podem ser observadas através da existência de trincas e degraus de abatimento na extensão do terreno, e da inclinação de árvores, cercas ou postes (TOMINAGA et al., 2011; CARVALHO, 2007; GUIMARÃES et al., 2008).

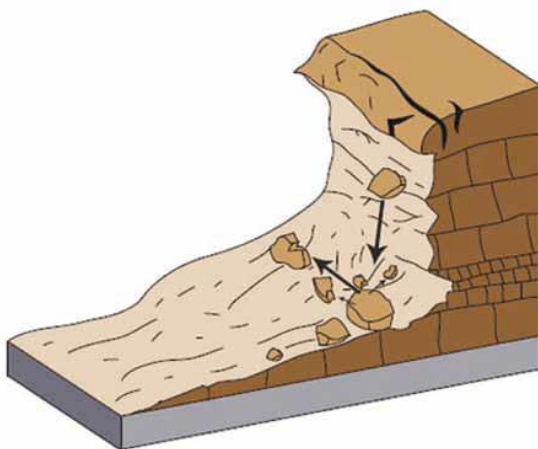
Figura 4 - Representação de encosta sendo afetada por processo de rastejo. Na figura podemos observar as árvores e outras estruturas inclinadas.



Fonte: HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008.

As *quedas* são movimentos rápidos, de rocha ou lascas de rocha, desencadeados pela ação da gravidade. Ocorrem em encostas íngremes de paredões rochosos e sua ocorrência é favorecida com a presença de fraturas e bandamentos no maciço rochoso, acúmulo de água ou penetração de raízes. (FERNANDES; AMARAL, 1998; CARVALHO, 2007).

Figura 5 - Desenho representando a queda de blocos rochosos.



Fonte: HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008.

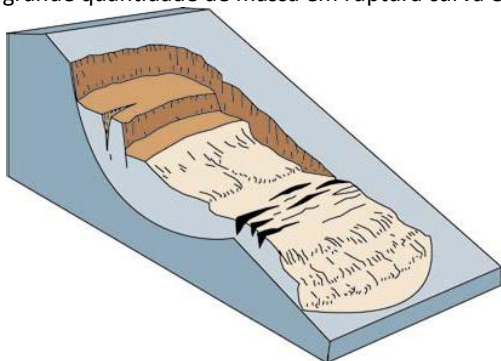
Os deslizamentos são caracterizados como movimentos gravitacionais de massa rápidos e de curta duração que são normalmente desencadeados por eventos pluviométricos intensos. possuem um plano de ruptura bem definido e permitem a diferenciação entre o material transportado e o que não sofreu movimentação.

Esses movimentos são normalmente classificados de acordo com a forma do plano de ruptura, que pode ser do tipo *rotacional* e *translacional*.

Os deslizamentos do tipo rotacional caracterizam-se pela movimentação de grande aporte de solo ao longo de uma superfície de ruptura curva e côncava para cima, conforme Figura 6.

Sua ocorrência está relacionada à existência de pacotes de solo bem desenvolvidos resultantes da alteração de rochas com alto teor de argila. Por este motivo, é o tipo de movimento de massa mais recorrente nas serras de Santa Catarina, onde encontramos espessos mantos de alteração de rochas sedimentares e cristalinas.

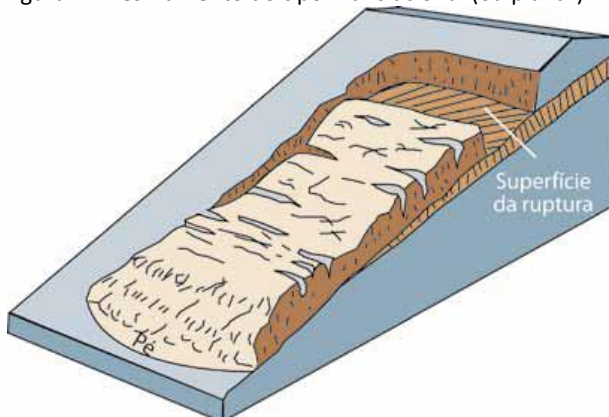
Figura 6 - Deslizamento do tipo rotacional representado pela movimentação de grande quantidade de massa em ruptura curva e côncava.



Fonte: HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008.

Os deslizamentos do tipo translacional possuem um plano de ruptura com forma planar, como na Figura 7, e ocorrem com maior frequência dentre todos os tipos de movimentos de massa. Diferentemente do deslizamento do tipo rotacional, seu plano de ruptura é mais raso, ocorrendo em solos pouco desenvolvidos, e geralmente se origina em descontinuidades no interior do material. (FERNANDES; AMARAL, 1998; GUIMARÃES et al., 2008; TOMINAGA et al. 2011; CARVALHO, 2007).

Figura 7 - Deslizamento do tipo Translacional (ou planar)



Fonte: HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008.

2.3 ANÁLISE PETROGRÁFICA

A análise petrográfica é utilizada para a identificação dos minerais constituintes das rochas, determinação de texturas e estruturas e os processos geológicos que afetaram o maciço rochoso.

Assim sendo, esta análise é fundamental para a compreensão da evolução do perfil de solo derivado da alteração da rocha mãe e subsidia os estudos de previsão, prevenção ou correção dos efeitos dos processos naturais, como os movimentos gravitacionais de massa.

A classificação petrográfica é obtida com base na sua mineralogia, arranjo textural e granulação. A importância de cada um desses critérios varia de acordo com o tipo de rocha estudado.

Os minerais característicos e necessários para a classificação petrográfica de um tipo de rocha são chamados minerais essenciais.

Por sua vez, os minerais que ocorrem em quantidades menores, cuja presença não seja determinante para a classificação petrográfica, são chamados acessórios. (FRASCÁ; SARTORI, 1998)

Quando a rocha é afetada por processos intempéricos ocorre a modificação dos minerais primários em minerais secundários ou de alteração, constituindo os argilominerais, hidróxidos de ferro, sais, sulfatos, entre outros. O grau de intemperismo químico guarda uma relação com a composição mineralógica da rocha, a existência de descontinuidades físicas e sua exposição aos condicionantes climáticos e geomorfológicos regionais.

2.4 DEFINIÇÃO DE CLASSIFICAÇÃO DOS ARGILOMINERAIS

Os argilominerais são formados pela alteração de outros minerais, como feldspatos, olivina, piroxênios e anfibólios. Os argilominerais mais comuns pertencem aos grupos da caolinita, esmectita e ilita.

Os argilominerais podem ser divididos em dois tipos, a saber: tipos expansivos e tipos não-expansivos.

Salientamos que neste trabalho o uso do termo argilomineral define espécie mineral, enquanto o termo argila define fração granulométrica, conforme Wenworth (1922) (tabela 1).

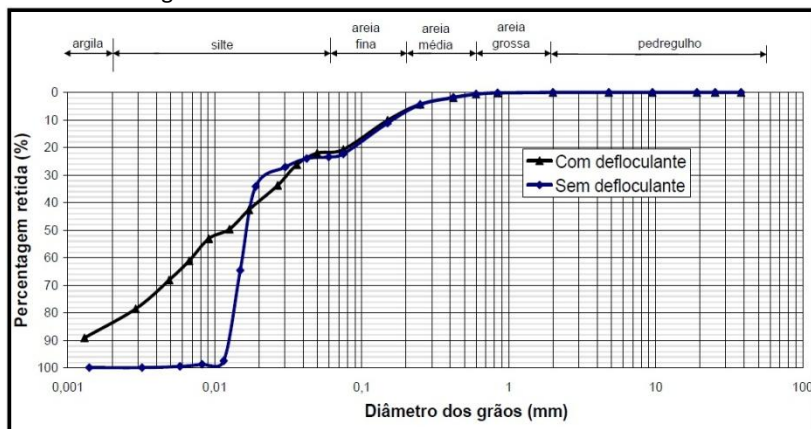
Tabela 1 - Escala de Wenworth

Designação do detrito	Dimensões em	Designação do sedimento solto	Designação da rocha consolidada
Blocos	> 256 (mm)		
Seixos, calhaus, burgaus, godos Cascalho Areão	256 a 64 (mm) 64 a 8 (mm) 8 a 2 (mm)	Cascalheiras de elementos angulosos Cascalheiras de elementos rolados	Brechas Conglomerados
Areia grosseira Areia média Areia fina	2.000 a 250 (µm) 250 a 125 (µm) 125 a 62,5 (µm)	Areia	Arcose Grauvaque Arenito ou grés
Silte ou limo	62,5 a 3,9 (µm)	Silte	Rochas sílticas
Argila	< 3,9 (µm)	Argila	Argila – Argilitos

Fonte: Modificado de Wenworth (1922).

Para fim de classificação granulométrica do solo da área utilizou-se as curvas granulométricas obtidas por Heidemann (2011) que determinaram a predominância da fração siltico-argilosa dos solos da área estudada (Figura 8).

Figura 8 - Curvas Granulométricas do solo estudado



Fonte: Heidemann, 2001.

As características dos argilominerais presentes na fração fina dos solos tem influência sobre seu comportamento, como a expansividade, absorção de água e consistência.

Para uma melhor compreensão dos argilominerais adotou-se a classificação de Velde (1992), que apresenta de forma prática as características dessas espécies minerais, separando os argilominerais em tipos expansivos e tipos não-expansivos.

Tabela 2 - Argilominerais expansivos e não expansivos

Elementos Dominantes		Espaçamento basal (Å)	
		Glicolada	Seca
Tipos Expansivos			
Smectites			
Beidellite	Al	17	10
Montmorillonite	Al (Mg, Fe ²⁺ minor)	17	10
Nontronite	Fe ³⁺	17	10
Saponite	Mg, Al	17	10
Vermiculite	Mg, Fe ²⁺ , Al (Fe ³⁺ minor)	15,5	10-12
Mixed layer minerals		10-17	<10
Tipos não-expansivos			
Illita	K, Al (Fe, Mg minor)	10	
Glauconita	K, Fe ²⁺ , Fe ³⁺	10	
Celadonita	K, Fe ²⁺ , Mg, Fe ³⁺ , Al ³⁺	10	
Clorita	Mg, Fe, Al	14	
Berthiérine	Fe ²⁺ , Al ³⁺ (minor Mg)	7	
Caulinita	Al	7	
Halloysita	Al	10,2	
Sepiolita	Mg, Al	12,4	
Palygorskita	Mg, Al	10,5	
Talco	Mg, Fe ²⁺	9,6	

Fonte: Adaptado de Velde, 1992.

Como todos os argilominerais são silicatos, a presença de SiO₂ não é um dos melhores critérios para ajudar na sua identificação através de análises químicas. Geralmente os elementos utilizados para identificar o tipo de argilomineral são o Al, Mg, Fe, K e, menos comumente, o Na e Ca.

Dessa forma, um importante critério utilizado na identificação dos argilominerais é a medida do espaçamento interfoliar das suas respectivas estruturas cristalinas. O espaçamento basal é determinado após o aquecimento a 200°C para eliminar a água absorvida, chamado de estado seco. O espaçamento basal expandido é determinado

utilizando vapor de etileno glicol para expandir as camadas a espaçamentos padrões.

2.4.1 Argilomineral Caolinita

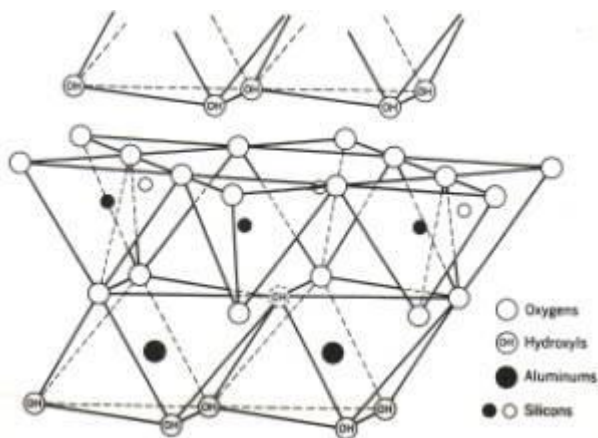
Salientamos que restringiremos nossos trabalhos a espécie caolinita por tratar-se da variedade mineral dominante nos solos da área estudada.

A caolinita é um dos argilominerais mais encontrados na natureza. Pertence ao tipo não expansivo (tabela verde) e origina-se da alteração de aluminossilicatos, como os feldspatos e micas, principalmente.

De acordo com Santos (1992, p. 58), a caolinita é formada pelo “empilhamento regular de camadas 1:1 em que cada camada consiste em uma folha de tetraedros SiO_4 e uma folha de octaedros $\text{Al}_2(\text{OH})_6$, ligadas entre si em uma única camada, através de oxigênio em comum”.

Conforme representado na Figura 9, a fórmula estrutural de célula unitária é $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$.

Figura 9 - Estrutura da folha unitária da caolinita

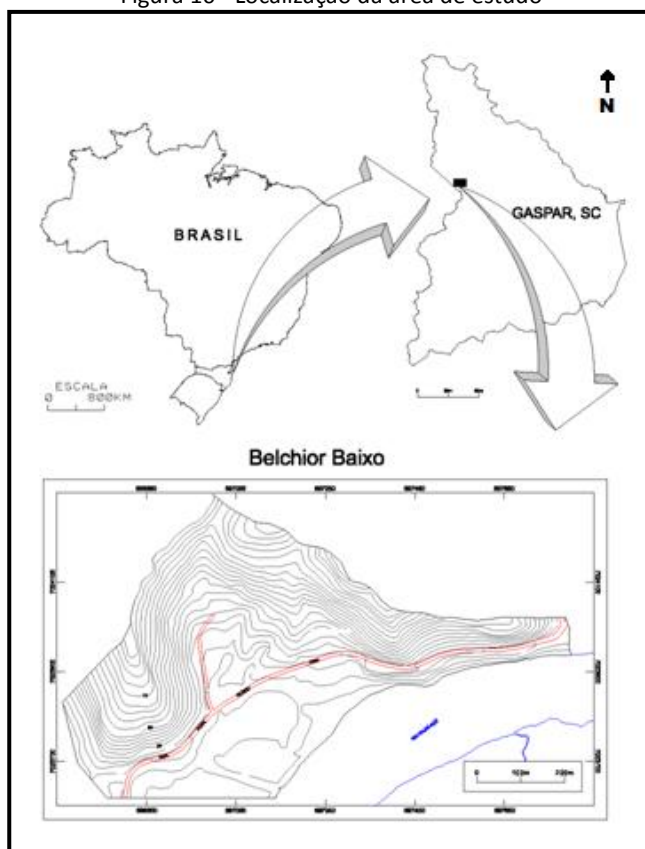


Fonte: Santos (1992, p. 58).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no bairro Belchior Baixo, no oeste do município de Gaspar. O município de Gaspar situa-se no Médio Vale do Itajaí, próximo ao limite com o município de Blumenau, conforme Figura 10. Gaspar integra a mesorregião do vale do Itajaí e da microrregião de Blumenau. Possui uma população de 57.981 habitantes distribuída numa área de 386,357 km² (IBGE, 2011).

Figura 10 - Localização da área de estudo

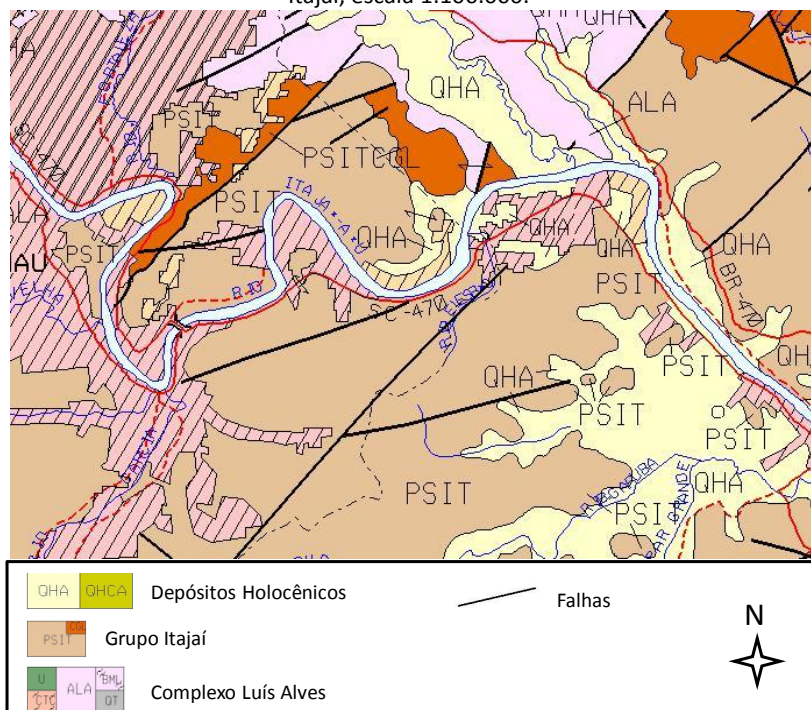


Fonte: Flores et al., 2009.

3.1 GEOLOGIA REGIONAL

De acordo com Bortoluzi (1987), o município de Gaspar está localizado no domínio tectônico do Escudo Catarinense. Este domínio tem no seu limite as coberturas Sedimentares da Bacia do Paraná a oeste e o Oceano Atlântico a leste e constitui-se de quatro unidades geotectônicas. Na área de estudo a unidade que representa o Escudo Catarinense está composta de rochas do Complexo Luiz Alves e que estão parcialmente cobertas por rochas sedimentares do Grupo Itajaí (Figura 11). Os sedimentos holocênicos ocupam as áreas planas do entorno da região e são formados por depósitos colúvio-aluvionares e fluviais.

Figura 11 – Recorte da geologia da área de estudo extraído do Mapa Geológico Itajaí, escala 1:100.000.



Fonte: Kaul et al, 2003.

Complexo Luiz Alves (ou Complexo Granulítico de SC):

O Complexo Luiz Alves (ou Complexo Granulítico de SC) está situada no nordeste do Estado avançando para além da divisa com o estado do Paraná. Ao sul o limite coincide com a divisa entre os municípios de Gaspar e Blumenau (zona de transcorrência) e as rochas basais do complexo granulítico está em contato com as rochas do grupo Itajaí. A oeste esta unidade é recoberta pelas formações sedimentares paleozoicas da Bacia do Paraná e a leste tem seu limite no Oceano Atlântico e é recoberto por depósitos sedimentares de idade holocênica. As rochas constituintes desse complexo são predominantemente gnaisses granulíticos, com a coloração típica cinza esverdeada, mas também preto e cinza claro e rochas metamórficas do fácies anfibolito. (Kaul et al, 2003; Scheibe, 1986).

Grupo Itajaí:

O grupo Itajaí está situado entre o Complexo Luis Alves e o Grupo Brusque. Seus depósitos, de origem sedimentar (turbiditos, arenitos, conglomerados, rochas vulcânicas e subvulcanicas – de composição predominantemente riolíticas), preenchem a bacia do Itajaí. Este grupo tem seu posicionamento geográfico e tectônico vinculado ao domínio externo do Cinturão Dom Feliciano(SILVA. L. C; BORTOLUZZI).

Depósitos Holocênicos:

As áreas planas do entorno da área de estudo são formados por depósitos colúvio-aluvionares e fluviais.

3.2 GEOMORFOLOGIA REGIONAL

A geomorfologia regional é composta por dois domínios morfoestruturais, a saber, o Domínio dos Embasamentos em Estilos Complexos e o Domínio das Bacias e Coberturas Sedimentares (SANTA CATARINA, 1986).

O domínio dos Embasamentos em Estilos Complexos é representado pela região geomorfológica das Serras do Leste Catarinense, com sua unidade geomorfológica denominada Serras do Tabuleiro/Itajaí. O segundo domínio morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares abrange a região geomorfológica da Planície Colúvio-aluvionar.

A unidade geomorfológica Serras do Tabuleiro/Itajaí é caracterizada por um relevo de encostas íngremes e vales profundos, com intensa dissecação. As áreas com maiores elevações ocorrem na Serra do Tabuleiro, com altitudes de até 1200 metros em alguns pontos e, ao se aproximar da linha de costa, assume altitudes gradativamente menores, atingindo menos de 100 metros junto ao litoral. Na parte leste, esta unidade é encontrada na forma de pontais cobertas por sedimentos recentes. Ao longo dos vales de alguns rios ocorrem relevos de topos convexos configurando morros em forma de meia laranja.

A geomorfologia desta unidade, com encostas íngremes e vales profundos, favorece a atuação de processos erosivos, principalmente nas encostas sem cobertura vegetal, aumentando a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, pois o manto de alteração, constituído de material fino é espesso, podendo atingir até 20m. Em muitas vertentes da área pertencente a esta unidade há anfiteatros de erosão ocasionados por movimentos gravitacionais de massa.

A unidade geomorfológica Planície Colúvio-aluvionar corresponde à superfície plana situada entre a planície litorânea e as encostas. Na área de estudo, também encontramos a Unidade da Planície Fluvial, representada pelas áreas planas situadas junto aos cursos d'água e sazonalmente e/ ou periodicamente inundadas. Nesta planície os depósitos são oriundos do retrabalhamento ocasionado pelos rios e do acumulo de depósitos colúvio-aluvionares (SANTA CATARINA, 1986).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ENCOSTA

A área de estudo encontra-se inserida dentro dos limites de uma sub-bacia hidrográfica de primeira ordem, tributária do rio Itajaí-Açú. Conforme pode ser observado na Figura 12, a sub-bacia Belchior Baixo possui forma irregular e é aberta, ao sul, para a calha do rio Itajaí.

Figura 12 - Delimitação da sub-bacia onde está inserida a encosta estudada



Fonte: Imagem extraída do Google Earth, 2013. Adaptada por Machado, 2013.

Sua amplitude altimétrica é de aproximadamente 125 metros, medida entre o ponto mais alto do divisor de águas e a menor cota na confluência do curso d'água de primeira ordem com o rio Itajaí-Açú. Essa informação foi obtida do *layer* curva de nível da base cartográfica do IBGE escala 1:50.000 (carta Blumenau SG.22-Z-B-IV-4).

Antes do evento de 2008 as encostas que delimitavam a propriedade, objeto do presente estudo, apresentavam cobertura vegetal íntegra, possivelmente secundária, com áreas de vegetação

visivelmente antropizadas nos arredores das edificações assinaladas na Figura 13, onde o retângulo maior corresponde ao galpão onde ficavam abrigados os animais de criação e o retângulo menor corresponde a residência dos proprietários.

Conforme relato de moradores, a encosta afetada pelos deslizamentos não apresentava sinais de instabilidade anteriormente aos eventos de novembro e dezembro de 2008.

Figura 13 - imagem datada de maio de 2008 da propriedade atingida. A edificação na base da encosta corresponde ao galpão e edificação abaixo corresponde à residência



Fonte: Imagem extraída do Google Earth, 2008. Adaptada por Machado, 2013.

Na noite do dia 22 para 23 de novembro de 2008 a área de estudo foi afetada por um primeiro movimento de massa, constituído de um fluxo de cascalhos de velocidade moderada que atingiu e derrubou a moradia do casal de idosos (Figura 14).

Figura 14 - Foto do que restou da residência atingida pelo primeiro movimento de massa



Fonte: Banco de imagens CEPED UFSC, 2009.

Com a destruição parcial dessa moradia o casal de moradores se abrigou na residência de um vizinho próximo, onde permaneceu por uma semana. Passada este período os idosos retornaram à sua propriedade e passaram a morar no galpão (Figura 13).

Aproximadamente uma semana após o primeiro movimento de massa, em 2 dezembro, por volta das 21 horas, essa propriedade foi afetada por dois deslizamentos sucessivos de porte médio do tipo rotacional, os quais foram responsáveis pela destruição do galpão e o óbito dos idosos.

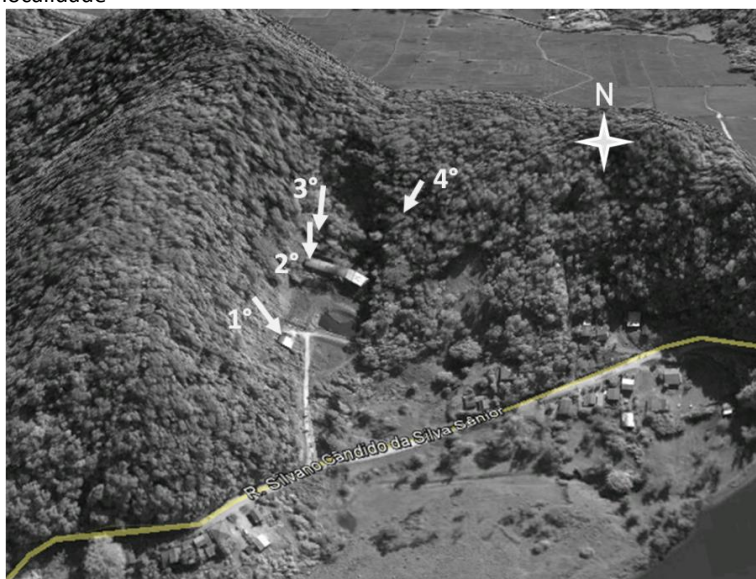
Por último, um quarto deslizamento de grande porte provocou um grande fluxo de detritos e um característico fluxo de lama que cobriu grande parte da propriedade, a própria estrada municipal que liga Gaspar a Blumenau, chegando o material deslizado às margens do rio Itajaí.

A ocorrência dos três movimentos de massa no dia 02 de dezembro motivou a evacuação total e espontânea dos moradores do bairro Belchior Baixo.

Na Figura 15 apresentamos o esquema da localização aproximada dos quatro movimentos de massa e sua sucessão de ocorrência.

O primeiro movimento de massa teve origem no conglomerado e os segundo, terceiro e quarto são provenientes do alterito do gnaiss granulito, conforme pode ser observado no Mapa 1 (Mapa Geológico e Geomorfológico da área de estudo com a localização dos Movimentos de Massa), página 47.

Figura 15 - Esquema representando os movimentos de massa que afetaram a localidade



Fonte: Imagem extraída do Google Earth, 2008. Adaptada por Machado, 2013.

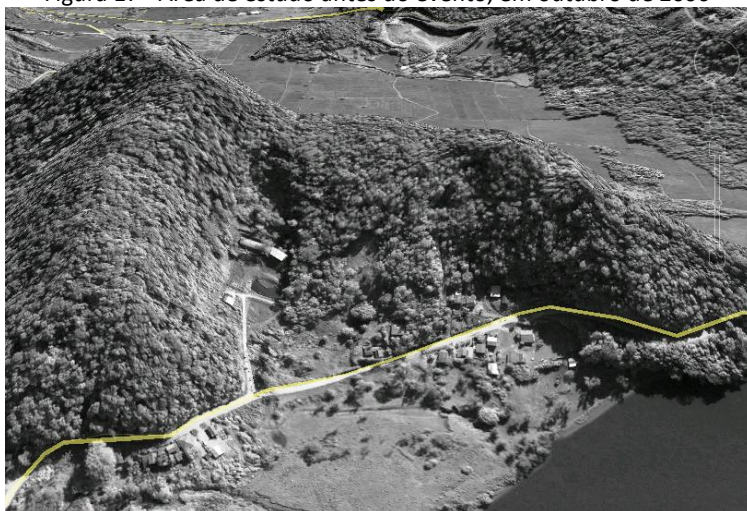
Figura 16 - moradores do bairro no setor em que foram acumulados os destroços do galpão e onde foi encontrado o corpo do idoso



Fonte: Banco de imagens CEPED UFSC, 2009.

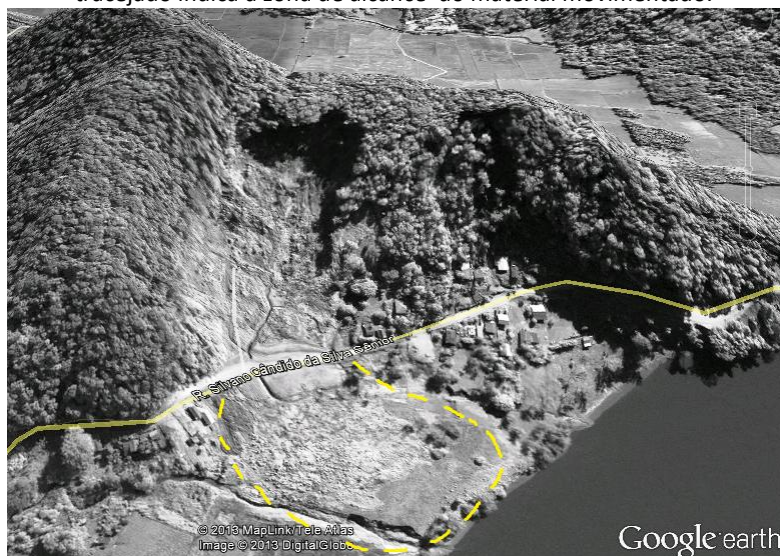
Na Figura 17 e na Figura 18 é possível observar a alteração causada na paisagem em virtude dos deslizamentos ocorridos durante os eventos atmosféricos intensos.

Figura 17 - Área de estudo antes do evento, em outubro de 2006



Fonte: Imagem extraída do Google Earth, 2008.

Figura 18 - Área de estudo depois do evento, em maio de 2009. O detalhe tracejado indica a zona de alcance do material movimentado.



Fonte: Imagem extraída do Google Earth, 2009. Adaptada por Machado, 2013.

Aproximadamente um ano após o evento de 2008 foram realizados os trabalhos de recuperação da estrada municipal e obras subsequentes para a pavimentação da mesma. Neste período os operários relataram que parte dos depósitos de detritos encontrava-se ainda saturada, ou seja, os sedimentos ainda estavam muito úmidos, possuíam uma consistência plástica similar às propriedades originais observadas logo depois de deslizado. Dessa forma, este trecho do antigo leito da estrada teve de ser totalmente removido, por estar comprometido pelo longo período de tempo em contato com o material deslizado proveniente da encosta.

3.4 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Como é possível observar no Mapa 1 (Mapa Geológico e Geomorfológico da área de estudo com a localização dos Movimentos de Massa) a área de estudo é composta por rochas granulito-gnaissicas do Complexo Granulítico Catarinense e por rochas conglomeráticas e arenitos do Grupo Itajaí. As rochas do grupo Itajaí encontram-se

assentadas sobre o Complexo Granulítico, exceto na porção central da encosta estudada, onde as Rochas do Grupo Itajaí já foram erodidas pelo soerguimento das rochas granulíticas neste setor.

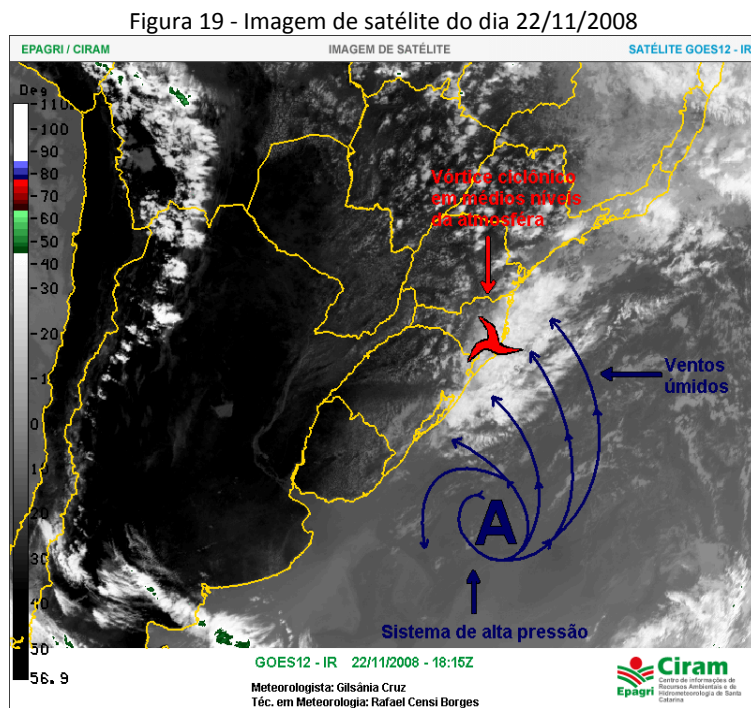
Em termos tectônicos, a geologia da área estudada apresenta um significativo controle estrutural, representado por falhas orientadas no quadrante nordeste que são responsáveis pelo soerguimento do setor central, resultando numa estrutura do tipo *Horst*, que permitiu o afloramento de rochas gnáissicas granulíticas.

Mapa 1

Mapa Geológico e Geomorfológico da área de estudo com a localização dos Movimentos de Massa

3.5 DESCRIÇÃO DO FENÔMENO METEOROLÓGICO

Durante os meses de setembro, outubro e novembro de 2008 o litoral do Estado foi afetado por um sistema de Alta Pressão, localizado no Oceano Atlântico. Este sistema atuou como um Anticiclone de bloqueio que, segundo Silva Dias (2009), é caracterizado por uma área de alta pressão muito intensa e estável que impede o deslocamento de sistemas meteorológicos. Como pode ser observado na Figura 19, no hemisfério sul o Anticiclone gera ventos que giram no sentido anti-horário. Estes ventos de leste trouxeram umidade do Oceano Atlântico para o litoral do Estado. Como as condições de tempo estabelecidas na região em que o bloqueio atua quase não sofrem variação e persistem por vários dias ou semanas, a região foi continuamente atingida por chuvas orográficas, de média e fraca intensidade, durante os meses de setembro, outubro e novembro.

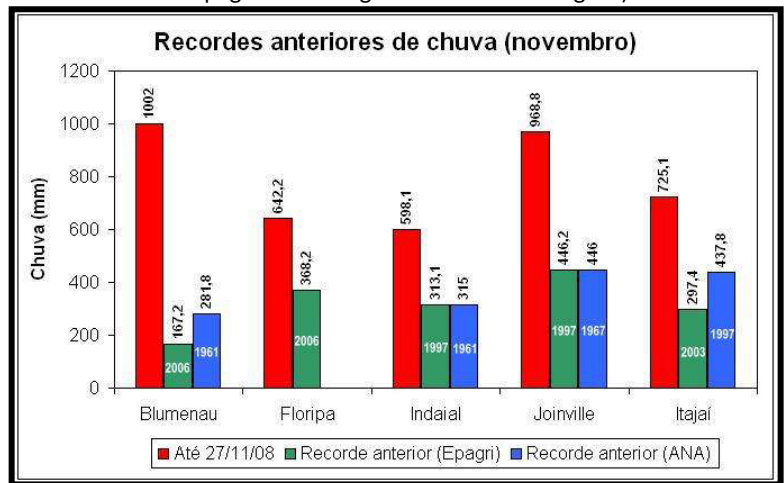


Ainda na Figura 19 é possível observar a existência de um vórtice ciclônico que se caracteriza como estabelecido por Silva e Dias (2009), por um sistema de baixa pressão em altos níveis atmosféricos. Este sistema passou a interagir com o já existente a partir do dia 21 de novembro quando, conforme a autora, combinação dos dois sistemas agravou a condição meteorológica:

O efeito dinâmico e termodinâmico gerado pelo vórtice ciclônico se combinou com o levantamento do ar marítimo produzido pelas montanhas que cercam o Vale do Itajaí, provocando o drástico aumento das precipitações. (SILVA DIAS, 2009, p. 40).

A média mensal de chuvas no mês de novembro de 2008 quebrou diversos recordes históricos nas regiões da Grande Florianópolis, Vale do Itajaí e Litoral Norte (SILVA DIAS, 2009), conforme pode ser constatado na Figura 20.

Figura 20 - Recordes de novembro e respectivos anos de ocorrência (estações da Epagri e ANA - Agência Nacional de Águas)

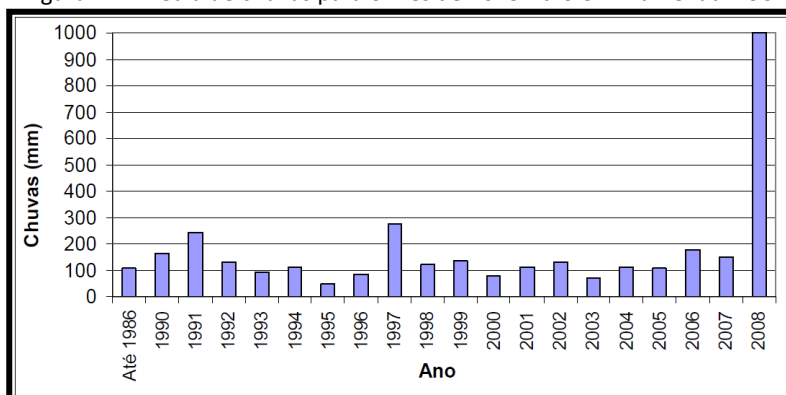


Fonte: Silva Dias (2009).

Na Figura 21, onde são apresentados os dados de precipitação do município de Blumenau, podemos observar que o volume de chuvas

registrado no mês de novembro foi muito maior do que os registros dos últimos 18 anos.

Figura 21 - Média de chuvas para o mês de novembro em Blumenau – SC



Fonte: Heidemann, 2011.

Na ausência de estação meteorológica instalada no município de Gaspar foram escolhidos os três municípios vizinhos para representar os valores máximos diários de precipitação em cada um, na semana do dia 21 ao dia 25 de novembro. Como pode ser observado na tabela 1, e comparado com a Figura 21, somente nos dias 22 e 23 de novembro o volume de chuvas representou mais que o dobro da média mensal prevista para alguns municípios do Vale do Itajaí.

Tabela 3- Dado de três estações em municípios próximos a Gaspar, no Vale do Itajaí.

Municípios	Chuva (mm)					
	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	TOTAL
Itajaí	89,4	133,3	180,9	74,2	3,9	481,7
Blumenau	42,6	21,2	236,2	214,6	9,4	523,9
Luiz Alves	131	158,6	136,2	250	17,2	693

Fonte: Epagri (2008).

A combinação da atuação do sistema de alta pressão e do vórtice ciclônico favoreceu e intensificou a ocorrência de desastres naturais, como enchentes e os movimentos gravitacionais de massa. O longo período de chuvas, aproximadamente um trimestre, resultou na saturação do solo que, encharcado, colapsou sob a ação gravitacional.

Dessa forma, os deslizamentos que ocorreram no bairro Belchior Baixo foram resultado de três meses de chuvas intermitentes e desencadeados pela ocorrência de precipitação intensa e concentrada em poucos dias.

As condições climáticas do estado, relacionadas com as condicionantes geológicas e geomorfológicas contribuem para a ocorrência de eventos extremos como estes e de outras magnitudes. O adensamento populacional intensifica essa dinâmica, e a presença humana nas áreas de risco faz com que esses eventos resultem em danos humanos e materiais, sendo caracterizados como desastres naturais.

Para a compreensão do clima regional é necessário levar em conta a interação entre os fatores geográficos, como a latitude, o relevo, a continentalidade ou maritimidade e os processos de circulação atmosférica atuantes na região.

A climatologia da região sul tem como características marcantes a homogeneidade, no que se refere aos seus índices pluviométricos e sua umidade (NIMER, 1989). Essa condição está fundamentalmente relacionada à sua posição geográfica e ao relevo da região (MONTEIRO, 1995).

Nas áreas mais próximas às encostas dos morros ocorre a elevação do ar úmido e quente, favorecendo a formação de nuvens cumuliformes resultando no aumento da precipitação local. Isto pode ser observado na área de estudo, onde a posição geográfica do Vale do Itajaí, voltado para o leste, favorece a entrada de umidade proveniente do Oceano Atlântico trazido pelos ventos sudeste e nordeste (SEVEGNANI; FRANK, 2009). Esta umidade encontra na Serra do Mar uma barreira orográfica, que obriga a ascensão dessa massa de ar úmido e seu consequente resfriamento e sua possível precipitação em forma de chuva.

Na abordagem de Strahler, que se fundamenta nos conhecimentos sobre a circulação geral da atmosfera, a região sul do Brasil encontra-se no Domínio climático subtropical úmido

(MENDONÇA, 2007). Nesta classificação a circulação atmosférica associada à origem e à natureza das massas de ar e às perturbações frontais dá origem às características do nosso tipo climático:

As massas de ar tropicais marítimas (MTM), úmidas e instáveis, alcançam as costas orientais dos continentes e movem-se para o interior. Carregam o calor e a umidade ao longo de frentes quentes e frias, onde o ar tropical encontra o ar polar. Esse modelo geral de clima, denominado subtropical úmido, surge nas latitudes de 25° a 35° N e S, sob domínio, no verão, das bordas ocidentais das células de altas pressões oceânicas, gerando chuvas copiosas e temperaturas e umidades elevadas. (MENDONÇA, 2007, p. 132)

Os sistemas que fazem parte do padrão atmosférico da região e são responsáveis pelas chuvas no estado são as frentes frias, os vórtices ciclônicos, os cavados de níveis médios, a convecção tropical, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a circulação marítima.

Na primavera, época do ano em que ocorreu o evento estudado, a instabilidade atmosférica é ocasionada principalmente pelos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). No entanto, a partir de novembro, por ocorrência da entrada das massas tropicais, o tempo na região sul passa a assumir características de verão (MONTEIRO, 1995).

Não se pode omitir aqui o papel das anomalias da temperatura da superfície do mar, que respondem por mudanças no padrão normal da circulação atmosférica. De acordo com dados obtidos no site do INPE, entre os anos de 2007 e 2008 as águas oceânicas estavam sobre a influência do fenômeno oceânico-atmosférico La Niña. Embora os episódios de incremento na precipitação sejam frequentemente relacionados a anos de influência do El Niño, Siva Dias (2009) aventa que um dos efeitos do La Niña favoreceu o estabelecimento e permanência do bloqueio atmosférico sobre o Atlântico Sudoeste durante vários meses, incluindo o de novembro. Dessa forma, o fenômeno não teria sido necessariamente, responsável pelo aumento da precipitação diretamente, mas sim manteve em caráter estacionário os sistemas meteorológicos atuantes na região.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS BIBLIOGRÁFICOS E CARTOGRÁFICOS

No desenvolvimento do trabalho, primeiramente, foi realizado o levantamento bibliográfico pertinente ao tema da pesquisa, com o intuito de avaliar os trabalhos anteriormente desenvolvidos e os seus respectivos resultados. Integram este levantamento, o cadastro de mapas, fotografias aéreas, imagens de satélite e outros produtos analógicos e digitais pertinentes a referida área. O foi realizado tendo como fonte as bibliotecas central e setoriais da Universidade Federal de Santa Catarina, da Universidade do Estado de Santa Catarina, a biblioteca do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), IBGE, Secretarias de Desenvolvimento Sustentável de SC, entre outros. O levantamento das fotografias aéreas da área de estudo foi realizado no DNPM.

4.2 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO POR ELETORRESISTIVIDADE

O levantamento geofísico do subsolo teve ênfase na medição da espessura de solo da encosta estudada.

Os trabalhos de campo e de escritório foram realizados pela empresa Geoenvi - Geologia e Meio Ambiente e acompanhados por nós.

Equipamentos utilizados: resistímetro, trena, bússola tipo Brunton, GPS, máquina fotográfica digital.

A Geofísica é o estudo subsuperficial da Terra através de medidas indiretas, feitas geralmente, na superfície do terreno. Existem diversos métodos geofísicos usados para prospecção e pesquisa, dentre eles há o grupo dos métodos geoeletricos, que por sua vez, divide-se em métodos elétricos e eletromagnéticos; Tais métodos caracterizam-se por medir a resposta do meio geológico à excitação por campos elétricos ou magnéticos de origem natural ou artificial.

A Eletorresistividade baseia-se no fato de que o solo e as rochas, em função de suas composições mineralógicas, texturais e disposições, apresentam a propriedade da resistividade elétrica. Como a água também possui a propriedade elétrica da resistividade, também

é possível mapear a ocorrência e a profundidade do nível freático no subsolo.

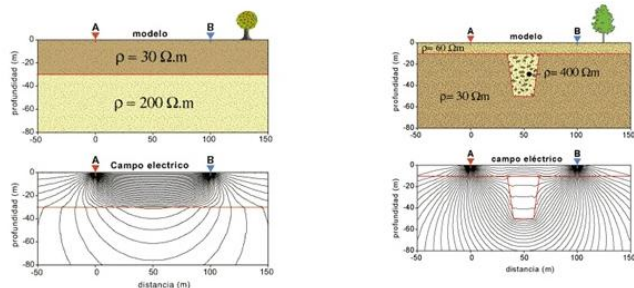
Figura 22 - Resistivímetro utilizado na realização do levantamento geofísico



Fonte: Geoenvi, 2011.

O método é realizado estabelecendo-se uma corrente elétrica no solo por meio de um par de eletrodos e verificando-se o potencial resultante por outro par de eletrodos. A corrente elétrica de intensidade I , transmitida por um par de eletrodos denominados A e B, aos quais está conectada uma fonte de corrente. Mede-se a diferença de potencial (ΔV) entre dois eletrodos de recepção denominados M e N. A partir daí, pode-se calcular a resistividade aparente do meio geológico. De acordo com a configuração dos eletrodos no terreno essa técnica pode ser denominada "Sondagem Elétrica Vertical" (SEV) ou "Caminhamento Elétrico", gerando uma "Imagem ou Perfil Geoeletrico 2D". Foi executado levantamento através da técnica Caminhamento Elétrico, com espaçamento de 10 m.

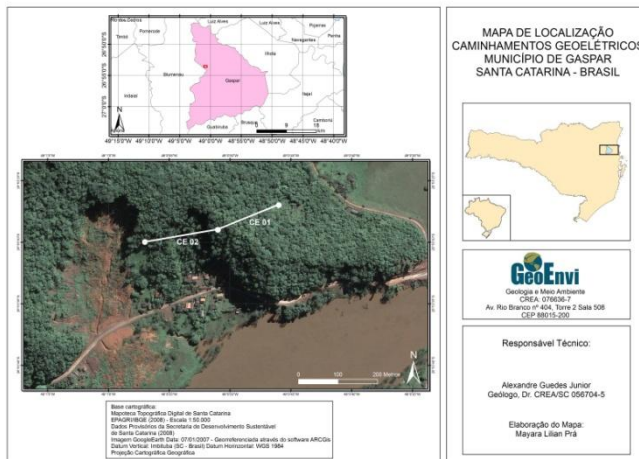
Figura 23 - Desenho esquemático: geofísica de eletrorresistividade



Fonte: Geoenvi, 2011.

Em comparação com uma sondagem rotativa, o método geofísico elétrico tem a vantagem da rapidez e de os resultados representarem uma área maior que o diâmetro tradicional das sondagens rotativas.

Figura 24 - Desenho esquemático do perfil do ensaio de geofísica de eletrorresistividade



Fonte: Geoenvi, 2011.

4.3 TRABALHOS DE CAMPO

Foram realizados três trabalhos de campo na área de estudo. O primeiro teve como intuito sanar as dúvidas referentes à fotointerpretação preliminar; coletar amostras de rochas e solos dos ambientes mapeados; e coletar pontos com o sistema GPS. Os materiais utilizados em campo foram: mapa geológico do CPRM/DNPM; GPS de navegação; cartas topográficas, lupas, máquina fotográfica; martelo geológico e bússola geológica.

No seguinte trabalho de campo foi realizada juntamente com a equipe da empresa Geoenvi Geologia e Meio Ambiente para a realização do Levantamento Geofísico (caminhamento elétrico) e serviu para detalhar locais específicos da área de estudo e coleta de amostras complementares.

Uma terceira saída de campo foi motivada por solicitação da empresa Geoenvi para a realização do perfil do caminhamento geofísico e utilizado para a confecção do Perfil Geoelétrico.

4.4 TRABALHOS DE LABORATÓRIO

As atividades de laboratório envolvem confecção de mapas, análise petrográfica, caracterização mineralógica por DRX e MEV dos solos amostrados.

4.4.1 Análise Petrográfica

Este item trata do estudo petrográfico e mineralógico da litologia aflorante na área estudada. É de grande importância o conhecimento da mineralogia das rochas presentes para compreender a relação entre os minerais primários e secundários.

Para a análise petrográfica foi coletada uma amostra representativa do granulito que ocorre de forma dominante no setor em que ocorreram os deslizamentos.

A amostra foi laminada no Laboratório de Laminação do Depto. de Geociências da UFSC, onde foi serrada, laminada e confeccionada uma lâmina delgada para os estudos petrográficos.

O estudo foi realizado através de um microscópio petrográfico que permite a determinação das microestruturas e micro texturas presentes na rocha, identificação das fases minerais e a classificação petrográfica da mesma.

4.4.2 Análises por Difração de Raios X

As amostras destinadas para as análises por Difração de Raios X (DRX) foram coletadas nos planos de rupturas dos deslizamentos, assim como no material detrítico deslizado nos setores intermediários e distais dos movimentos de massa. Para este ensaio foram utilizadas 8 amostras.

Foram preparadas amostras não orientadas para a determinação da mineralogia total do solo e amostras orientadas (natural, glicolada e calcinada) para a determinação dos argilominerais presentes nos horizontes estudados.

A DRX permite o reconhecimento mineralógico dos solos formados a partir da alteração das rochas granulíticas que ocorrem na área, assim como das rochas sedimentares distribuídas nas cotas mais elevadas. O conhecimento da mineralogia destes solos permite compreender a evolução dos processos intempéricos que resultaram em espessos mantos de solos residuais.

As análises por DRX foram realizadas no Instituto de Geociências da UFRGS. Abaixo é descrita a metodologia empregada pelo instituto:

Metodologia para identificação de Argilominerais em Amostras Orientadas:

Preparação das amostras e separação da fração < 4µm:

- *Quarteamento da amostra;*
- *Desagregação em gral de porcelana;*
- *Desagregação por Agitação durante 14 horas em agitador orbital;*
- *Desagregação por ultra-som de ponteira durante 5 min com amostra em solução;*

-Com a amostra em solução estabiliza-se a temperatura para controlar a viscosidade do fluido;

- De acordo com a planilha eletrônica baseada na Lei de Stokes calcula-se o tempo de decantação respectivo de cada fração. O processo de decantação normal é utilizado para separar da amostra a fração <4 μ m. O tempo estipulado para essa fração é de 1h 10min;

Esquema para separação das frações:

- Concentração da suspensão por Centrifugação na velocidade e no tempo requerido para o assentamento de partículas maiores que 4 μ m:

- velocidade angular = 5.000 rpm;

- tempo = 5 min.;

- Com a fração granulométrica separada, fazem-se lâminas especiais para análise por Difração de raios X. Tem-se a amostra Orientada em Lâminas;

- Repetição do processo para as demais amostras;

-De acordo com a necessidade concentra-se a amostra para arquivamento e estudos posteriores.

Após o processo descrito acima, teremos a fração < 4 μ m orientada. Desta forma privilegiam-se as faces 001 para a identificação de argilominerais. Chama-se amostra orientada natural. A amostra orientada natural é saturada com etileno glicol para verificar a existência ou não de argilominerais expansivos. Para isto a amostra orientada natural é borrifada com etileno glicol e o excesso retirado com papel absorvente. Chama-se amostra glicolada. A amostra orientada natural também é aquecida a 550° Celsius durante duas horas para avaliar argilominerais que colapsam a sua estrutura nestas condições (ex.: argilominerais do Grupo das Caolinitas) permitindo uma identificação mais precisa. Chama-se amostra calcinada.

Condições Analíticas:

O equipamento utilizado é um difratômetro SIEMENS BRUKER AXS Modelo D5000 com goniômetro ϑ - ϑ . A radiação é K α em tubo de Cobre nas condições de 40 kV e 25 mA. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro para cada tipo de análise é a seguinte:

Amostra do Pó: 1 segundo para 0,02° de degrau do goniômetro de 2° a 72° 2θ.

Amostra Orientada Natural: 2 segundos para 0,02° de degrau do goniômetro de 2° a 28° 2θ.

Amostra Orientada Glicolada: 3 segundos para 0,02° de degrau do goniômetro de 2° a 28° 2θ.

Amostra Orientada Calcinada: 2 segundos para 0,02° de degrau do goniômetro de 2° a 28° 2θ.

4.4.3 Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Com o intuito de verificar características do solo, como a morfologia das partículas que o compõem, o nível de degradação das mesmas e a natureza dos argilominerais.

As amostras utilizadas para a análise por MEV foram obtidas da amostragem dos solos em diversos horizontes (in situ), assim como, de material detrítico derivado de deslizamentos (massa transportada).

Para a realização das análises foram utilizadas amostras nas suas condições naturais de campo, com exceção da amostra BB01 que foi separada em duas frações, > 250# e < 250#, com o intuito de comparar a forma dos cristais de caolinita nestes dois intervalos, particularmente, a fração inferior a 250 mesh em que se encontra os cristais mais afetados pela fragmentação das partículas durante o escoamento do fluxo de lama.

Figura 25 – Peneiramento da amostra BB01



Fonte: Machado, 2012.

Figura 26 - Preparação do suporte porta-amstras (*stub*) para futura metalização



Fonte: Machado, 2012.

Figura 27 - (A) Stubs montados com as amostras; (B) Dissecador empregado para conservar as amostras até o momento da metalização; (C) Metalizador



Fonte: Machado, 2012.

Figura 28 – Microscópio Eletrônico de Varredura



Fonte: Machado, 2012.

4.5 GEOPROCESSAMENTO

Estas atividades envolveram a elaboração de um mapa com a localização dos pontos de coletas de amostras nos trabalhos de campo e a elaboração de um mapa geológico-geomorfológico da área de estudo com informações observadas em campo.

4.6 ANÁLISE, SISTEMATIZAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

Após a realização de cada etapa é feita a análise, a sistematização e interpretação integrada dos dados.

4.7 ELABORAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A redação da dissertação foi realizada paralelamente às demais etapas, sendo que depois da conclusão das mesmas ocorreu a integração dos dados e a finalização da redação.

5 RESULTADOS OBTIDOS

5.1 TRABALHO DE CAMPO E MAPEAMENTO GEOLÓGICO

Em 30 dezembro do ano de 2010 foi realizado mapeamento geológico e coleta de amostras de solo e rocha no bairro Belchior Baixo.

No total foram mapeados 15 pontos na área de estudo aproveitando as cicatrizes ainda preservadas da cobertura vegetal, assim como, os cortes realizados ao longo da estrada municipal que expôs diversas feições geológicas, como contatos litológicos, estruturas sedimentares primárias e feições estruturais.

No Mapa 2, página 83 estão representados os pontos onde as amostras foram coletadas, além de outros pontos importantes para a caracterização da área de estudo.

Para a execução dos ensaios de laboratórios foram coletadas amostras de solo e rocha de vários pontos da área de estudo:

Ponto 1

Este ponto situa-se nas coordenadas UTM 697058/7023981. É o flanco leste do último grande deslizamento e constitui um fluxo de lama. Foi coletada amostra (BB01) de solo siltico-argiloso de cor marrom avermelhada (Figura 29).

Figura 29 - Solo siltico-argiloso transportado, relacionado com o fluxo de lama situado na borda leste do deslizamento principal



Fonte: Machado, 2010.

Ponto 2

Neste ponto, de coordenadas UTM 697080/7024084 (Figura 30), foram coletadas amostras dos horizontes A, B e C (BB02HA, BB02HB e BB02HC), com espessura de 1,4 m. No local aflora granulito gnáissico (Figura 31), cuja foliação apresenta direção S27°W e mergulho de 84°NW.

Figura 30 - Vista geral do topo do anfiteatro do grande deslizamento



Fonte: Machado, 2010.

Figura 31 - Detalhe do horizonte C com foliação remanescente do granulito gnáissico



Fonte: Machado, 2010.

Ponto 5

Neste local, com coordenadas UTM 697071/7024094, foi coletada amostra de gnaiss granulítico. Esse local corresponde a uma ravina (Figura 32) situada em gnaiss granulítico falhado que controla a nascente situada á montante desse ponto. Essa falha guarda relação direta com desenvolvimento de solo espesso e consequente associação ao deslizamento de maior porte.

Figura 32 - Ravina situada em gnaiss granulítico



Fonte: Machado, 2010.

Ponto 6

Neste ponto, de coordenadas UTM 696992/7024138, (Figura 33), foi onde ocorreu o deslizamento que atingiu o galpão da propriedade provocando o óbito dos proprietários. Foram coletadas amostras dos Horizontes A (Figura 34), B (Figura 35) e C (Figura 36).

Figura 33 - Cicatriz do deslizamento que provocou o óbito de duas pessoas



Fonte: Machado, 2010.

Figura 34 - Coleta de amostra no Horizonte A do ponto 06



Fonte: Machado, 2010.

Figura 35 - Coleta de amostra do Horizonte B



Fonte: Machado, 2012.

Figura 36 - Coleta de amostra do Horizonte C na cicatriz do deslizamento



Fonte: Machado, 2010.

Ponto 7

Neste ponto, de coordenadas UTM 696938/7023923, localiza-se os fundos da residência destruída pelo deslizamento (Figura 37). O material encontrado e coletado apresenta sedimento com matriz arenosa e seixos arredondados esparsos (Figura 38).

Figura 37 - Fundos da residência destruída pelo deslizamento de material sedimentar



Fonte: Machado, 2010.

Figura 38 - Material conglomerático situado nos fundos da residência destruída



Fonte: Machado, 2010.

Ponto 8

Neste local, de coordenadas UTM 696957/7023775 em corte recente da estrada municipal está exposto o arenito de aspecto “sal e pimenta”, coeso e fortemente diagenizado, que quando alterado apresenta feições de alteração esferoidal (Figura 39).

Figura 39 - Bloco de arenito de aspecto “sal e pimenta” com alteração esferoidal



Fonte: Machado, 2010.

Ponto 9

Neste ponto, de coordenadas UTM 696845/7023701, o corte de estrada expõe o arenito coberto por níveis conglomeráticos (Figura 39). Em detalhe é possível observar-se o avançado estado de diagênese do arenito e a imbricação dos seixos no conglomerado.

Figura 40 - Corte de estrada expondo o arenito coberto por níveis conglomeráticos



Fonte: Machado, 2010.

Ponto 10

No ponto de coordenadas UTM 696963/7023773 o arenito está cortado por uma falha de direção $S66^{\circ}E$ mergulho $78^{\circ}SW$ (Figura 41). A estratificação do arenito apresenta direção $N60^{\circ}E$ e mergulho de $21^{\circ}SE$.

Figura 41 - Falha no arenito “sal e pimenta”



Fonte: Machado, 2010.

Ponto11

No ponto de coordenadas UTM: 697161/7023910 o arenito alterado apresenta seixos esparsos de quartzo (Figura 42).

Figura 42: Em detalhe os seixos de quartzo em arenito alterado



Fonte: Machado, 2010.

Ponto 12

Neste local, com coordenadas UTM 697275/7023949, observa-se o contato do arenito com o conglomerado que sugere claramente a discordância entre estas duas litologias (Figura 43).

Figura 43 - Detalhe do contato entre o arenito e o conglomerado



Fonte: Machado, 2010.

Ponto 13

No ponto de coordenadas UTM 697332/7023930 o corte de estrada deixa exposto o arenito bordô intercalado com conglomerado (Figura 44 e Figura 45).

Figura 44 - Contato entre o arenito bordô e o conglomerado



Fonte: Machado, 2010.

Figura 45 - Em detalhe, o conglomerado encontrado no ponto 13

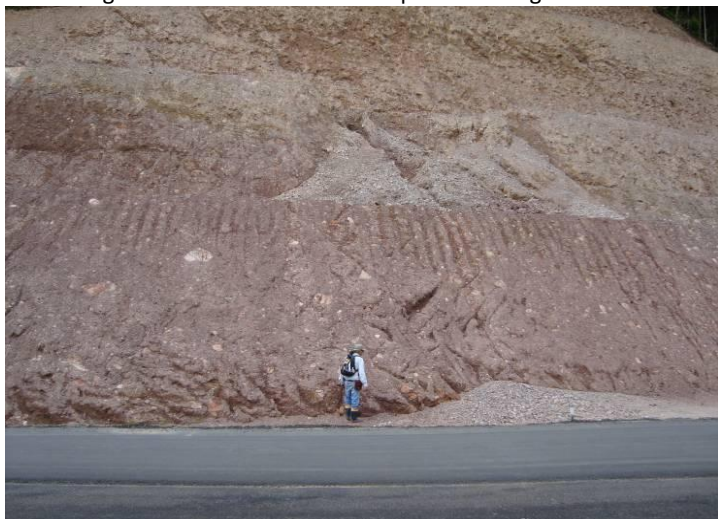


Fonte: Machado, 2010.

Ponto 14

Corte de estrada expondo arenito (Figura 46). A medição a atitude da estratificação apresentou direção de N18°E e mergulho de 20°SE

Figura 46 - Corte de estrada expondo o conglomerado



Fonte: Machado, 2010.

Figura 47 - Falha onde se encontra a ravina. Direção S15°W e 60°NW – rejeito vertical de 1,20 m



Fonte: Machado, 2010.

Figura 48 – Detalhe da falha onde se encontra a ravina. Direção S15°W e 60°NW – rejeito vertical de 1,20 m



Fonte: Machado, 2010.

Ponto 15

Neste ponto, de coordenadas UTM 697650/7023956 o corte de estrada deixou exposto o conglomerado petromítico com seixos de quartzito cortados por fratura de direção N76°E e mergulho de 80°SE.

Figura 49 - Conglomerado petromítico com seixos de quartzito



Fonte: Machado, 2010.

Figura 50 - Conglomerado petromítico com seixos arredondados de quartzito e rochas magmáticas



Fonte: Machado, 2010.

Figura 51 - Conglomerado petromítico com seixos de quartzito



Fonte: Machado, 2010.

Mapa 2

5.2 LEVANTAMENTO GEOLÓGICO E GEOFÍSICO

Estamos apresentando os resultados obtidos pelo levantamento geofísico realizado pela empresa GEOENVI, sob a responsabilidade técnica do geólogo Alexandre Guedes. O texto apresentado retrata fielmente parte do relatório apresentado pela referida empresa.

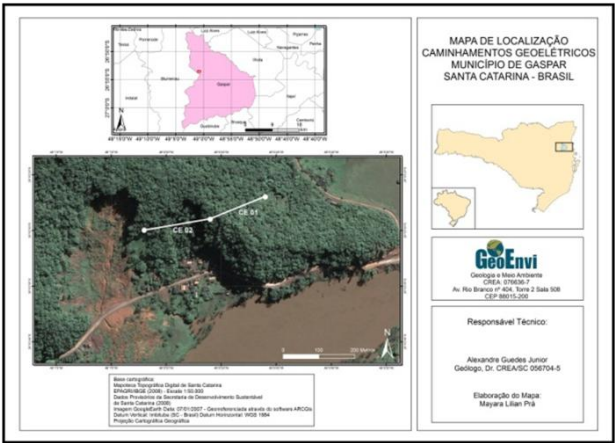
Figura 52: Detalhe da rocha (conglomerado) presente na área de estudo.



Fonte: Geoenvi

Os Caminhamentos Elétricos adquiriram sinais com boa estabilidade no campo e geraram imagens geoeletricas do terreno com excelente nível de confiabilidade na informação. Foram realizados dois caminhamentos, C01 e C02, transversalmente ao talude, no sentido oeste-leste, realizando a investigação do subsolo do talude desde sua base até topo. Os dois caminhamentos realizados têm 240 m de comprimento cada um (Figura 53).

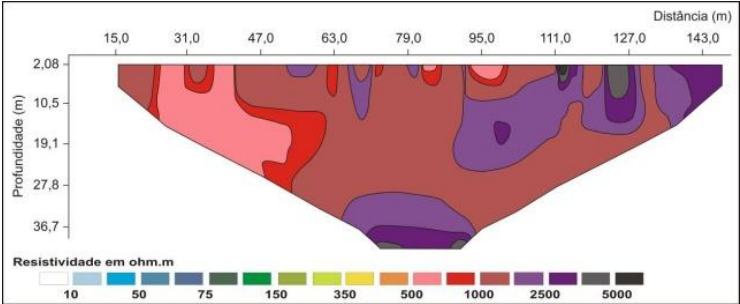
Figura 53 - Localização do caminhamento elétrico 01 (CE 01) e caminhamento elétrico 02



Fonte: Geoenvi, 2011

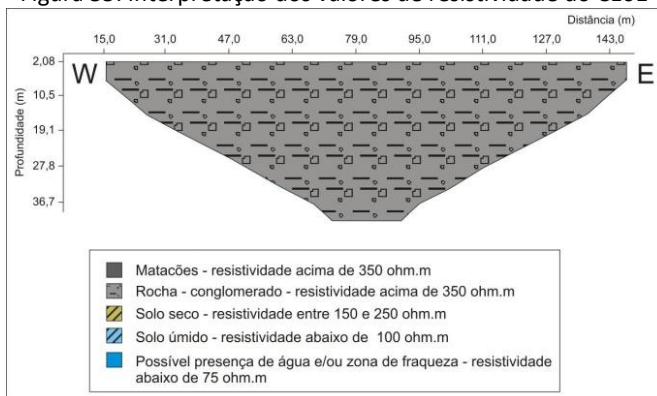
CE 01: O Caminhamento CE 01 apresentou altas resistividades ao longo de todo seu percurso (Figura 54), inclusive nas camadas superficiais. Estas altas resistividades estão associadas à presença do conglomerado, que é aflorante, sem cobertura de intemperismo (Figura 55).

Figura 54 – Resistividades apresentadas no Caminhamento Elétrico CE01



Fonte: Geoenvi, 2011

Figura 55: Interpretação dos valores de resistividade do CE01

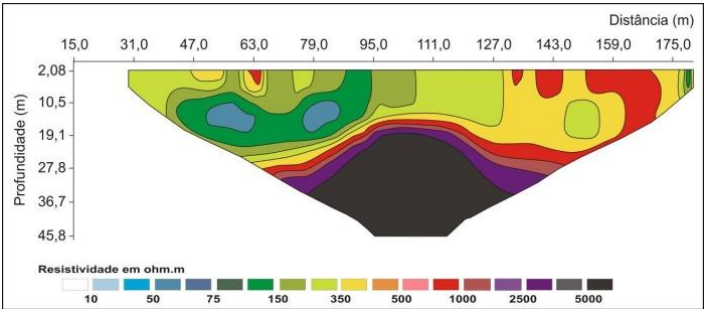


Fonte: Geoenvi, 2011

CE02

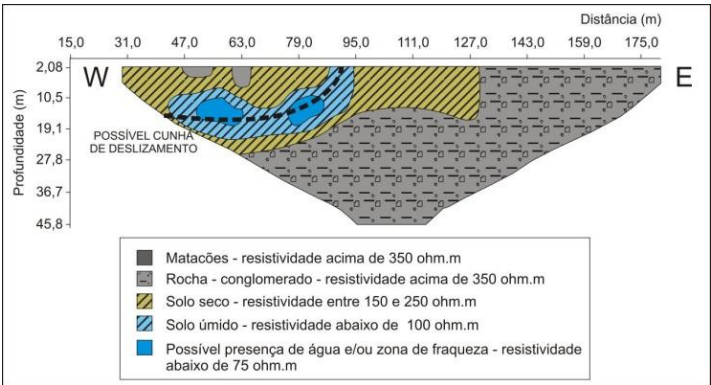
O caminhamento CE 02 apresentou diversificação das resistividades ao longo de seu percurso. As resistividades mais elevadas, que correspondem ao conglomerado estão presentes na porção final do caminhamento, área em que ele se aproxima do CE 01. Na porção oposta (Oeste – W), final do caminhamento, na porção mais próxima a um movimento de massa recente (2008), as resistividades diminuem significativamente indicando a existência de solo seco, solo úmido e de água/ou zona de fraqueza no subsolo. Em campo foi possível detectar a existência de água no solo, nessa parte do levantamento. A camada de solo nesse ponto é espessa, na ordem de 24 m, abaixo da qual as resistividades aumentam indicando a presença de rocha (conglomerado). Na região onde ocorre solo na parte superficial, ocorrem pequenos núcleos de alta resistividade, indicando a presença de matacões rochosos em meio ao solo (Figura 56 e Figura 57).

Figura 56 – Resistividades apresentadas no Caminhamento Elétrico CE02



Fonte: Geoenvi, 2011

Figura 57 – Interpretação dos valores de resistividade do CE02



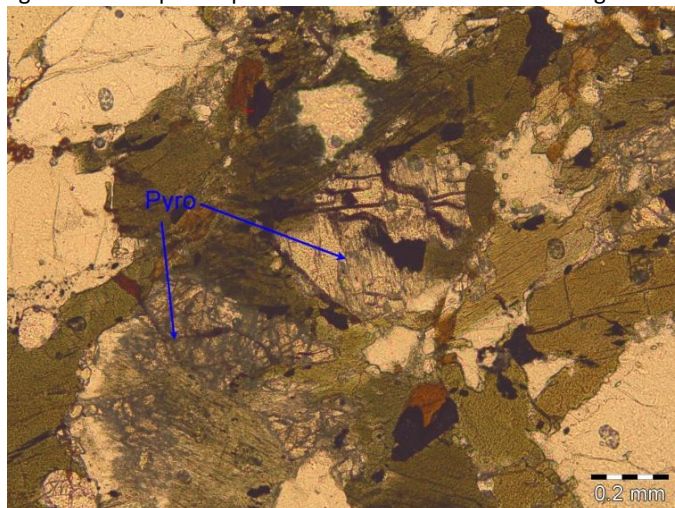
Fonte: Geoenvi, 2011

5.3 ANÁLISE PETROGRÁFICA

Nos afloramentos mapeados o granulito apresenta bandamento gnáissico característico com direções variadas, dobrados ou não.

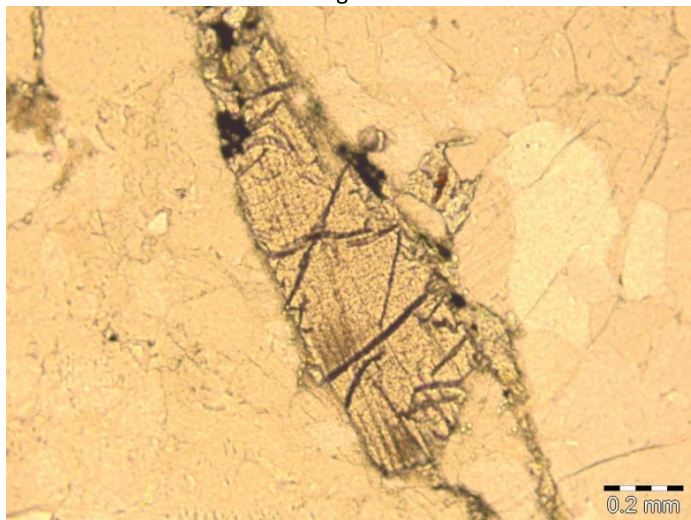
Ao microscópio, a composição mineralógica compreende hornblenda, biotita, óxidos de ferro, plagioclásio, feldspato alcalino e quartzo com quantidades variáveis de hiperstênio. A textura é granoblástica. A biotita ocorre alterada a clorita. A rocha é classificada como granulito (fotomicrografias: Figura 58 e Figura 59).

Figura 58 - Fotomicrografia em que se observa um agregado de minerais ferromagnesianos e opacos que constituem níveis bandados no granulito



Fonte: Prof. Dr. Edison Ramos Tomazzoli.

Figura 59 - Fotomicrografia de um cristal de hiperstênio. Mineral típico da fácies granulito



Fonte: Prof. Dr. Edison Ramos Tomazzoli.

5.4 ANÁLISE POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)

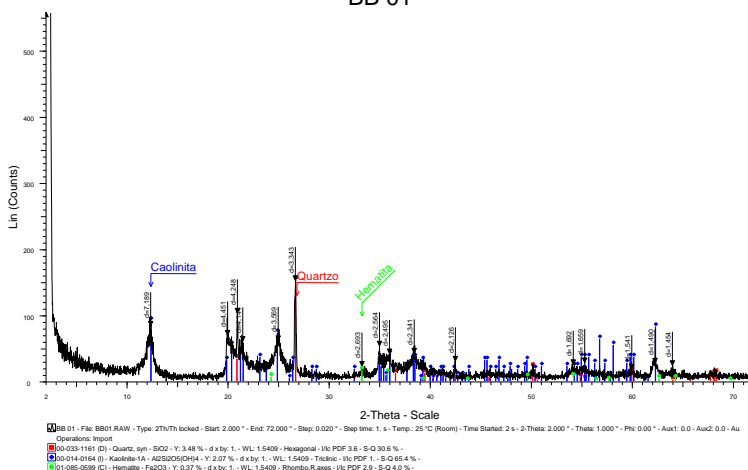
As análises por DRX foram realizadas em amostras não-orientadas e amostras orientadas dos solos e do material detrítico deslizado. Nos difratogramas de amostra orientada as cores estão organizadas da seguinte forma:

- Preto: amostra natural;
- Azul: amostra glicolada;
- Vermelho: amostra calcinada.

O ponto 01 situa-se no flanco leste do último grande deslizamento (quarto deslizamento) e constitui um fluxo de lama. Foi coletada a amostra (BB01) de solo siltico-argiloso, de cor marrom avermelhada.

No difratograma da amostra não-orientada, em que se determina a mineralogia total da amostra observa-se a ocorrência dominante da caolinita, presença de quartzo e traços de hematita (Figura 60).

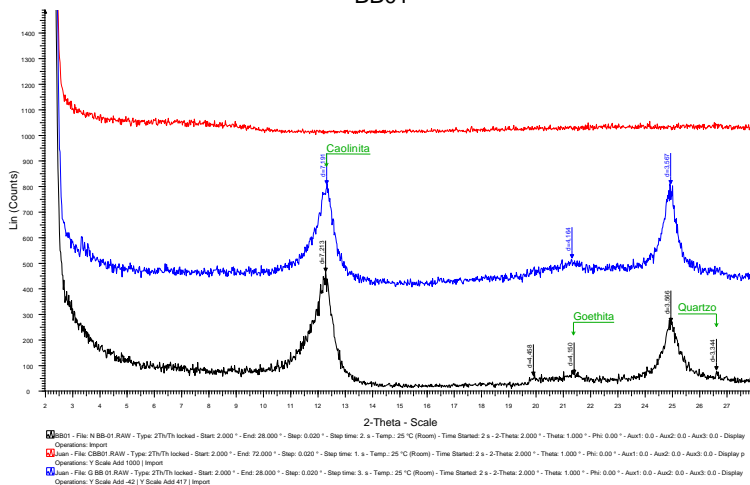
Figura 60 - Difratoograma de Mineralogia Total da amostra BB01
BB 01



Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

No difratograma de amostra orientada BB01 (Figura 61) observa-se a ocorrência dominante de caolinita, cujo pico principal em 7,1 Å apresenta típica forma simétrica. Salienta-se que a caolinita é o argilomineral característico nessa parte dos sedimentos derivados do grande e quarto deslizamento.

Figura 61 - Difratoograma de amostra orientada BB01.
BB01

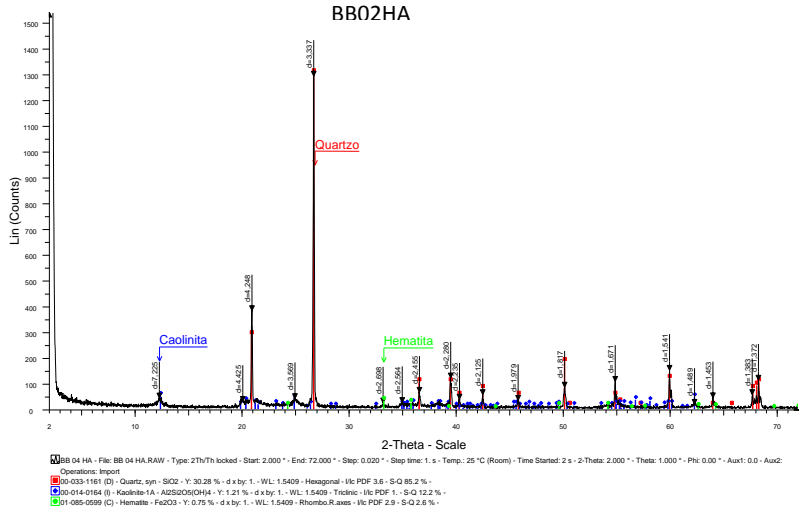


Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

No ponto 02 foram coletadas amostras dos horizontes A, B e C (BB02HA, BB02HB e BB02HC), com espessura de 1,4 m. No local aflora granulito gnáissico, cuja foliação apresenta direção S27°W e mergulho de 84°NW. A foliação do granulito gnáissico preserva a sua feição primitiva.

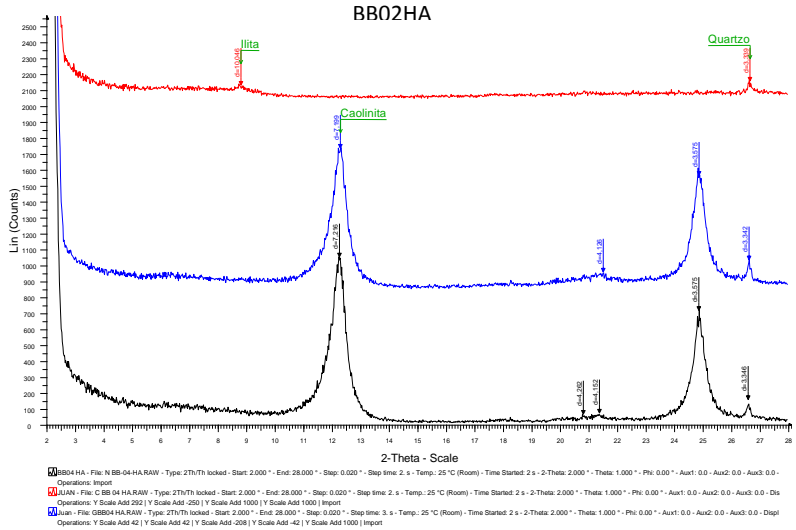
No difratograma de mineralogia total do Horizonte A (amostra BB02HA, Figura 62) observa-se a presença dominante do quartzo, enquanto a caolinita e hematita restam de forma subordinada. Neste horizonte o grau de lixiviação foi intenso, permitindo o enriquecimento em minerais resistentes ao intemperismo, neste caso o quartzo. No difratograma da amostra orientada (Figura 69) a caolinita ocorre absoluta de todos os argilominerais, caracterizada por um pico simétrico, boa cristalinidade e intensidade marcante de primeira ordem (7, 216 Å), assim como, o pico de segunda ordem (3, 575 Å).

Figura 62 - Difratoograma de amostra total BB02 horizonte A



Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

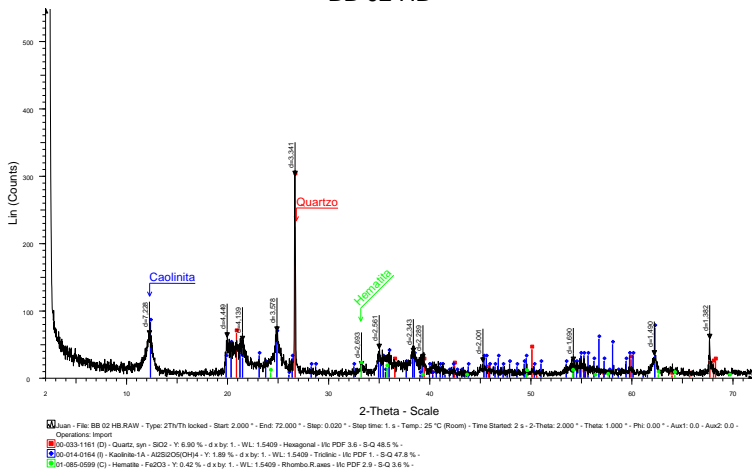
Figura 63 - Difratoograma de amostra orientada BB02 horizonte A.



Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

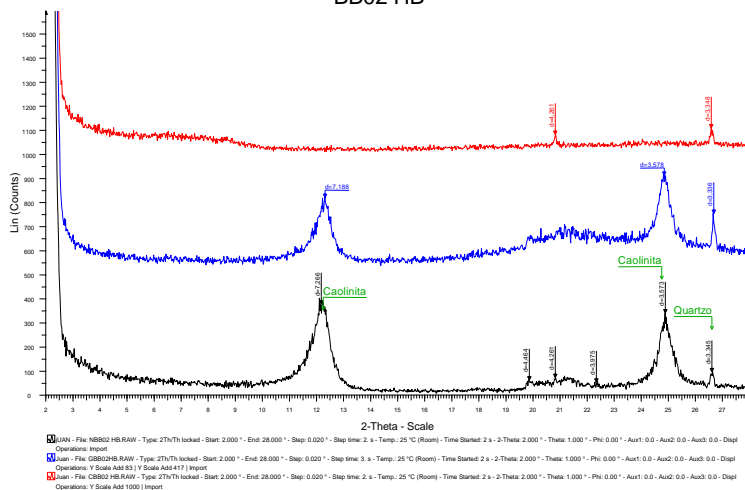
No difratograma de mineralogia total da amostra BB02HB (Figura 64) observa-se, como no exemplo anterior, a predominância de caolinita, picos marcantes de quartzo e traços de hematita. Em suma, características similares ao solo da amostra do Ponto 1. Cabe salientar que o deslizamento originado no Ponto 2 abasteceu, em grande parte, o fluxo de lama cujo material detrítico remanescente foi amostrado no Ponto 1, tornando possível esta correlação.

Figura 64 - Difratograma de amostra total BB02 horizonte B
BB 02 HB



Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

Figura 65 - Difratoograma de amostra orientada BB02 horizonte B.
BB02 HB



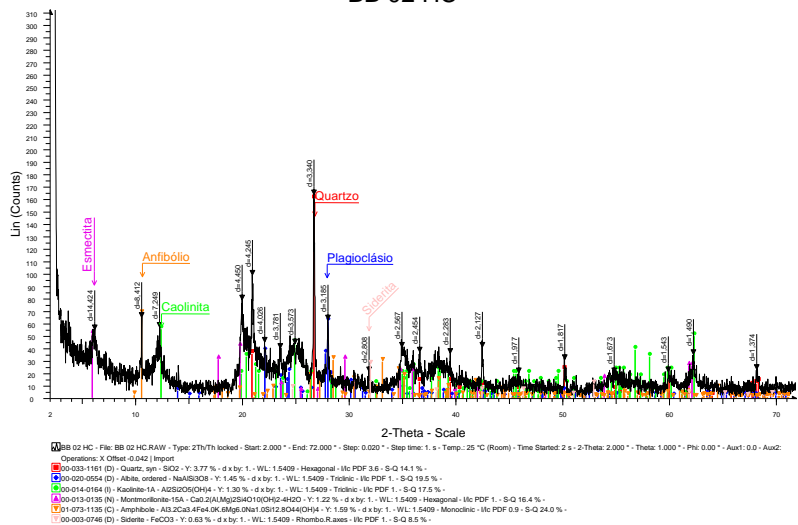
Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

No difratograma de mineralogia total da amostra BB02HC (Figura 66) permite-nos identificar a presença de anfibólio, plagioclásio e quartzo, minerais remanescentes do gnaiss granulítico.

Há também a ocorrência marcante de argilominerais do grupo da esmectita e caulinita. Por outro lado, no difratograma de amostra orientada (Figura 67) que corresponde a fração < 4µm, os argilominerais dominantes na amostra de mineralogia total passam a ocorrer de forma subordinada, retratada por bandas em lugar de picos definidos.

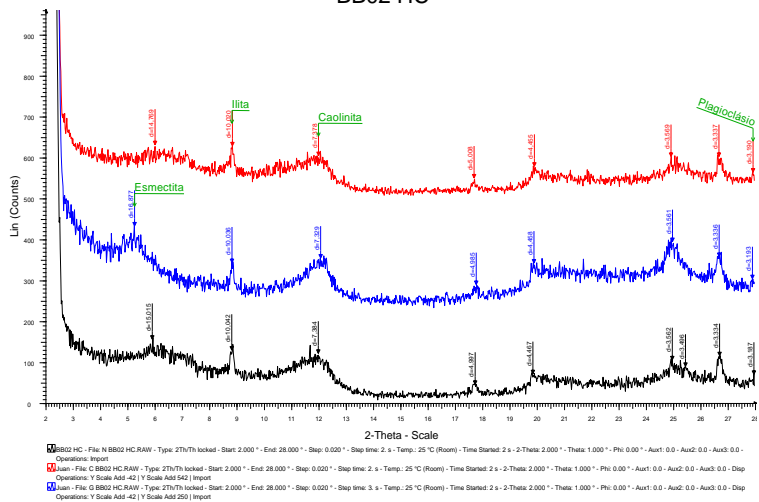
Observa-se a presença de illita como um argilomineral marcante. Desta forma, podemos afirmar que no horizonte C a mineralogia original do gnaiss ainda encontra-se preservada e é possível a convivência de três variedades de argilominerais, isto é, esmectita, illita e caulinita. Esta paragênese mineral indica o caráter incipiente da alteração do gnaiss granulítico.

Figura 66 - Difratograma de amostra total BB02 horizonte C
BB 02 HC



Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

Figura 67 - Difratograma de amostra orientada BB02 horizonte C.
BB02 HC



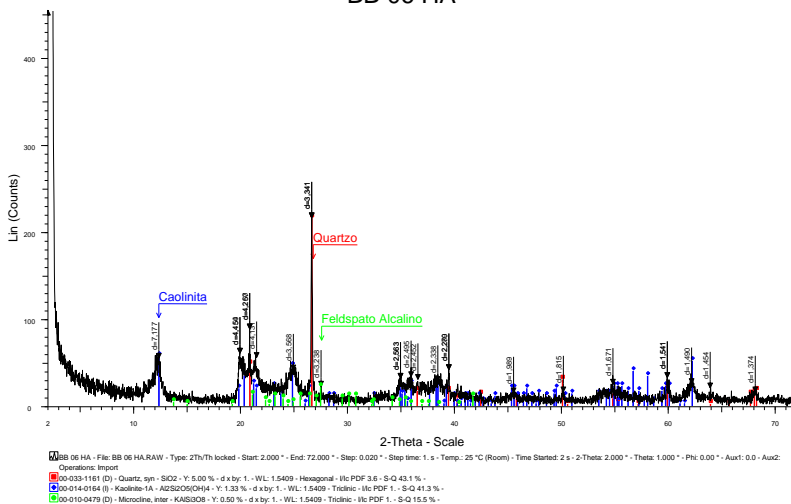
Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

No ponto 06 foram coletadas amostras dos horizontes A, B e C (BB06HA, BB06HB e BB06HC),

No difratograma de amostra não orientada do ponto 06, horizonte A (Figura 68) podemos observar que a caolinita possui um baixo grau de cristalinidade. A ausência de hidróxidos de Fe neste horizonte é motivado pela presença abundante de matéria orgânica que provoca a lixiviação deste elemento. O Fe é transportado e depositado no HB como é possível observar no difratograma do horizonte B, na Figura 69.

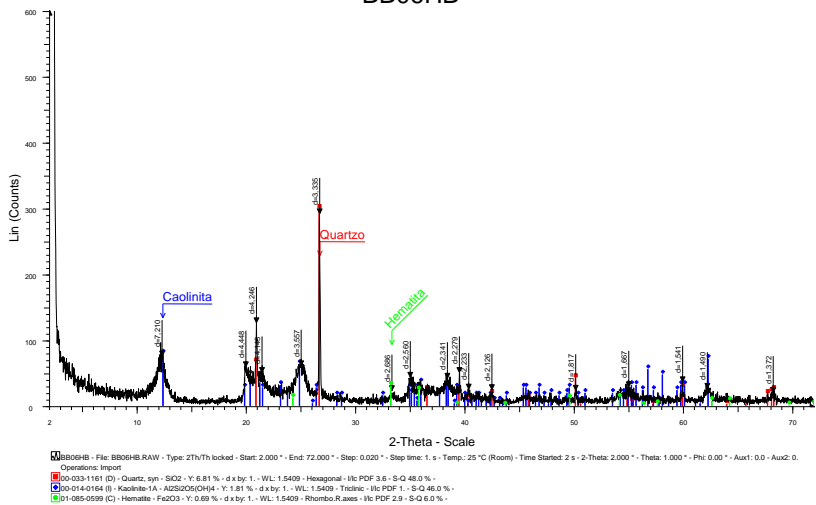
Nos difratogramas de amostra não orientada do Horizonte B (Figura 69) a presença da hematita é justificada pela concentração de óxidos de Fe neste horizonte. Novamente o baixo pico de caolinita indica a baixa cristalinidade deste argilomineral neste ponto da encosta. Esta característica se repete no difratograma de amostra não orientada do horizonte C (Figura 70).

Figura 68 - Difratograma de amostra não orientada BB06 horizonte A
BB 06 HA



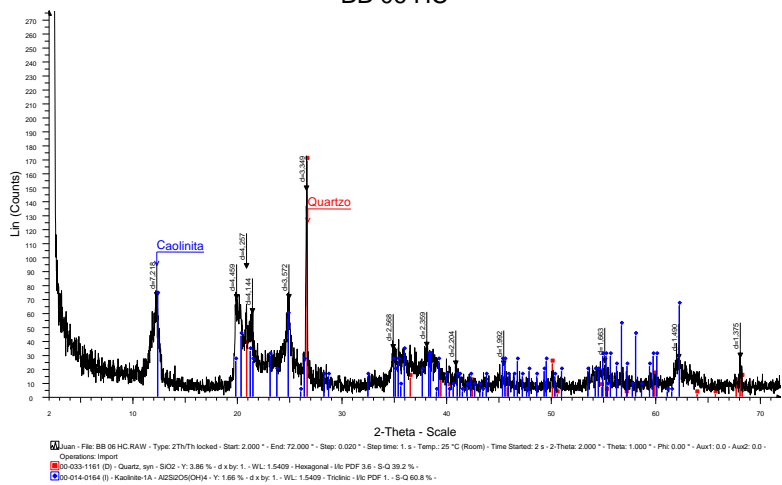
Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

Figura 69 - Difratograma de amostra não orientada BB06 horizonte B.
BB06HB



Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

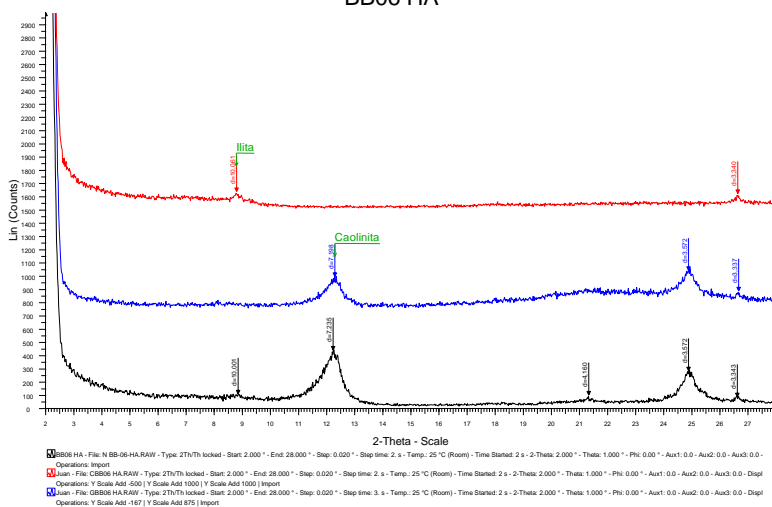
Figura 70 - Difratograma de amostra não orientada BB06 horizonte C
BB 06 HC



Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

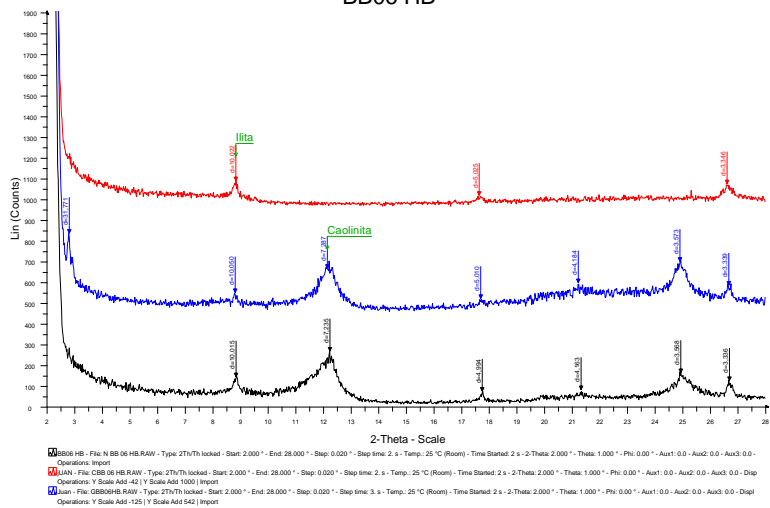
Nos difratogramas de amostra orientada BB06 horizonte A (Figura 71) o pico da caolinita é representado por uma banda ampla e com baixa intensidade, relacionado com baixo grau de cristalinidade. Esta mesma característica foi encontrada nos difratogramas de amostra orientada do horizonte B (Figura 72) e do Horizonte C (Figura 73).

Figura 71 - Difratograma de amostra orientada BB06 horizonte A.
BB06 HA



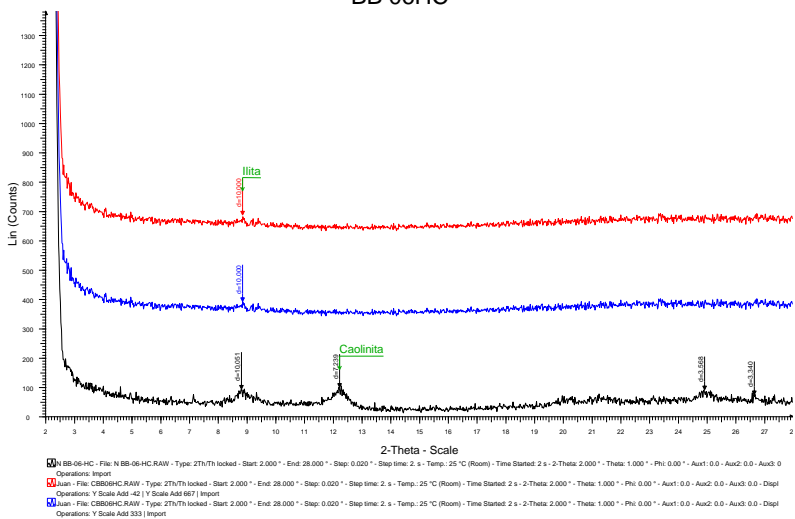
Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

Figura 72 - Difratograma de amostra orientada BB06 horizonte B.
BB06 HB



Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

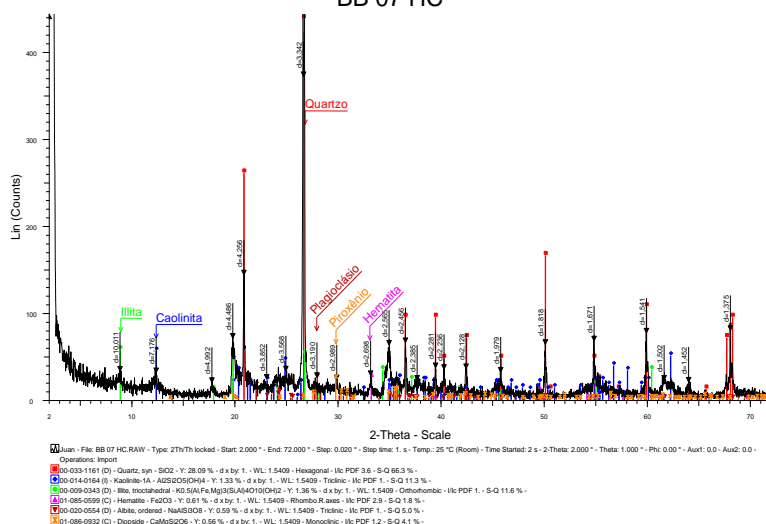
Figura 73 - Difratograma de amostra orientada BB06 horizonte C.
BB 06HC



Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

O difratograma BB07 (Figura 74) corresponde a amostra coletada em solo desenvolvido sobre conglomerados. O difratograma dessa amostra não orientada revela uma mineralogia típica de rochas cristalinas, atestado pela presença de plagioclásio e piroxênio. A presença de illita indica alteração dos minerais micáceos da rocha cristalina.

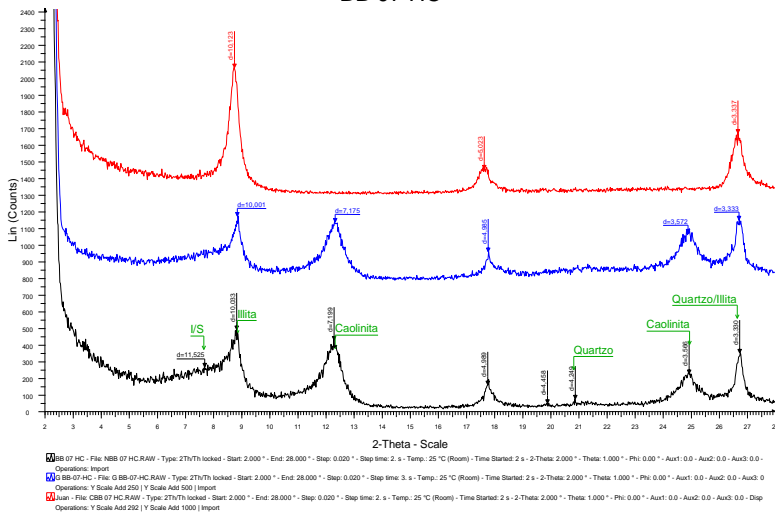
Figura 74 - Difratograma de amostra não orientada BB07 horizonte A BB 07 HC



Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

No difratograma de amostra orientada do horizonte C deste ponto os argilominerais são representados pela caolinita e illita que apresentam picos com intensidade similares(Figura 75).

Figura 75 - Difratograma de amostra orientada BB07 horizonte C
BB 07 HC



Fonte: Machado, 2011. (Instituto de Geociências da UFRGS).

5.5 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

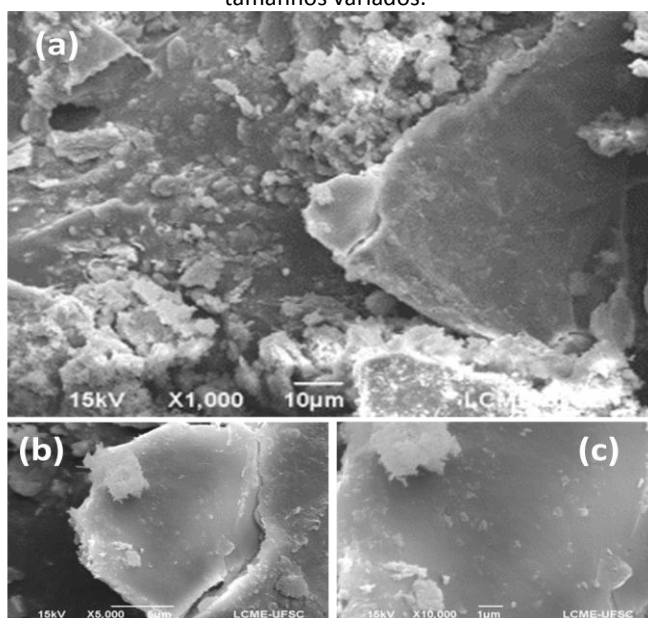
As análises por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foram realizadas com o intuito de avaliar as texturas e outras propriedades superficiais, além de corroborar a identificação das fases minerais presentes obtidos pelas análises de Difração de Raios X. As análises por MEV também serviram para observar a morfologia, o tamanho dos indivíduos, tamanho dos poros inter cristalinos e composição química dos argilominerais e de outros componentes presentes nas amostras coletadas.

Com a finalidade de caracterizar a composição química dos argilominerais presentes nos solos e sedimentos estudados foram realizadas microanálises químicas por energia dispersiva em determinadas amostras. Os espectros obtidos revelaram a presença dominante de alumínio e sílica, elementos essenciais na composição da caolinita.

Entre as amostras estudadas é destacada à coletada no Ponto 01. A amostra coletada neste ponto revelou a existência de cristais de

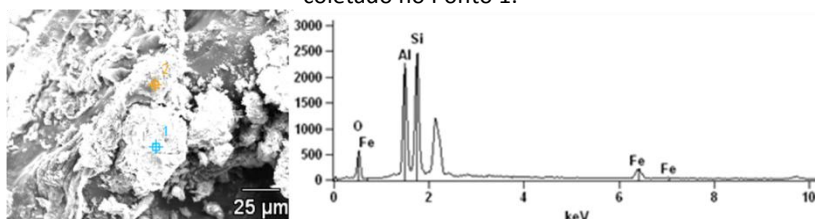
caolinita de formas e dimensões variadas, conforme podem ser observados nas Figura 76 (a, b, c), assim como a Figura 77 que representa um detalhe do cristal analisado e o espectro da microanálise química por energia dispersiva realizada que demonstra a presença dominante de Al e Si elementos essenciais na composição da caolinita. A presença de Fe pode estar relacionada com a ocorrência de hidróxidos deste elemento presente no sedimento.

Figura 76 – (a, b, c) Indivíduos de caolinita de hábito lamelar característico com tamanhos variados.



Fonte: Machado, 2012.

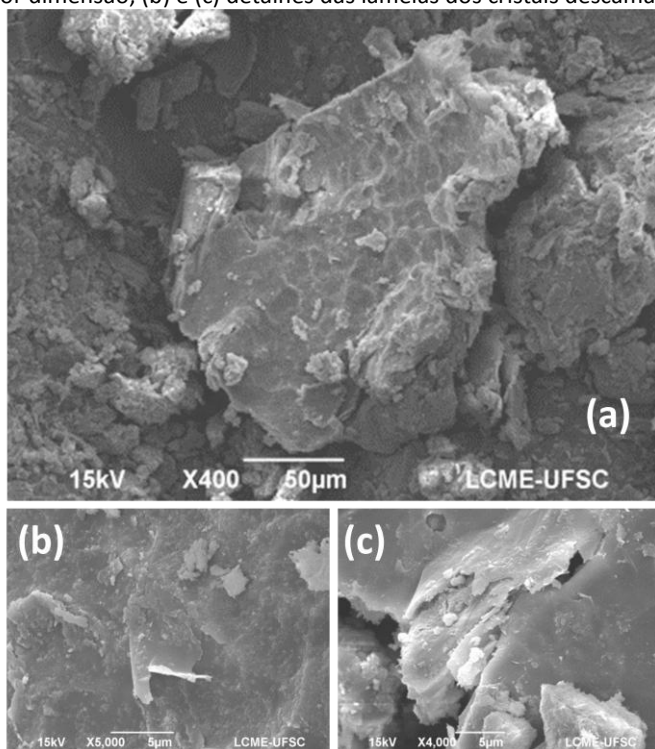
Figura 77 - Espectro da microanálise química por energia dispersiva da amostra coletado no Ponto 1.



Fonte: Machado, 2012.

As imagens da Figura 78 (a) e suas ampliações (b e c) revelam cristais de caolinita lamelar em que as lamelas deste argilomineral aparecem descamadas. Este processo de descamação pode ser significativo na explicação do comportamento gelatinoso observado no material deslizado.

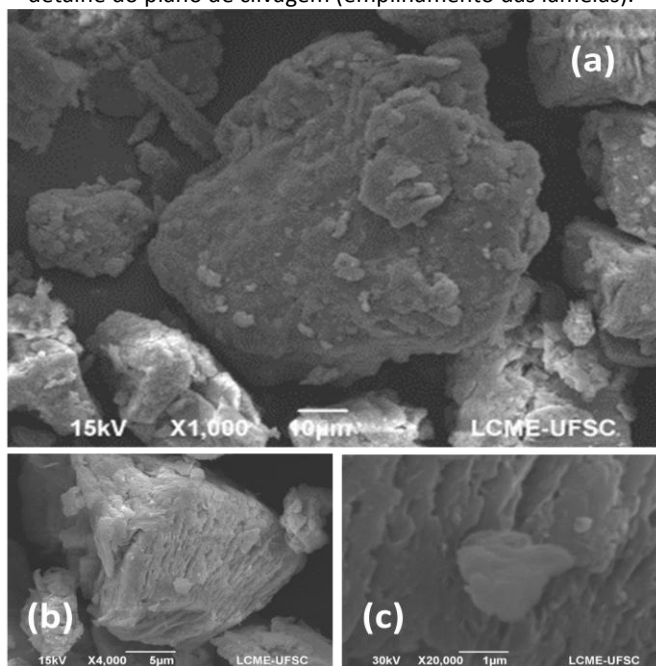
Figura 78 – Indivíduo de aproximadamente 200 μm envolto de partículas de menor dimensão; (b) e (c) detalhes das lamelas dos cristais descamados.



Fonte: Machado, 2012.

Nas imagens da Figura 79(a) é possível observar-se a presença de dimensões distintas de caolinita. É provável que estas diferenças de tamanhos estejam relacionadas com gerações diversas deste argilomineral, conforme vistos em 79(b) e (c), respectivamente.

Figura 79 – (a) Cristais com diferentes tamanhos; (b) presença de clivagem; (c) detalhe do plano de clivagem (empilhamento das lamelas).

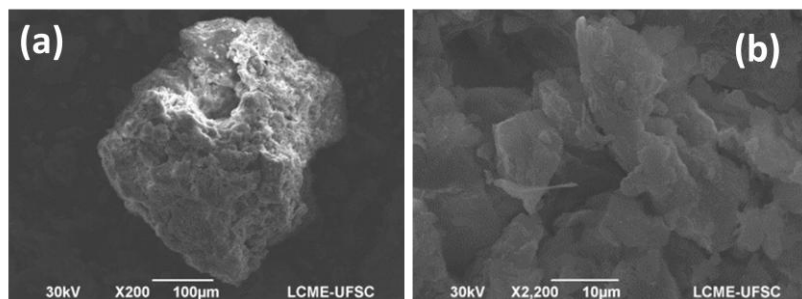


Fonte: Machado, 2012.

As amostras coletadas no Ponto 02 foram obtidas dos horizontes A (BB02HA), B (BB02HB) e C (BB02HC), respectivamente.

Na amostra BB02HA foi observada a ocorrência de cristais de caolinita com bordas bem definidas e características, assim como a existência de placas muito finas de forma euédrica a subédrica (Figura 80 a e b).

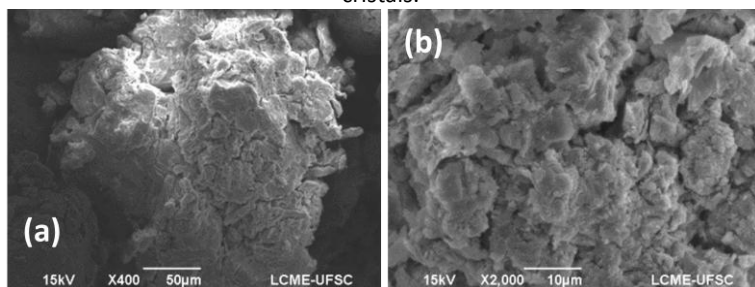
Figura 80 - Cristais de caolinita com ângulos bem definidos (a) e formas delicadas, com placas muito finas (b).



Fonte: Machado, 2012.

No horizonte B, na amostra BB02HB as imagens apresentaram espaçamentos significativos entre os cristais de caolinita, como pode ser observado na Figura 81.

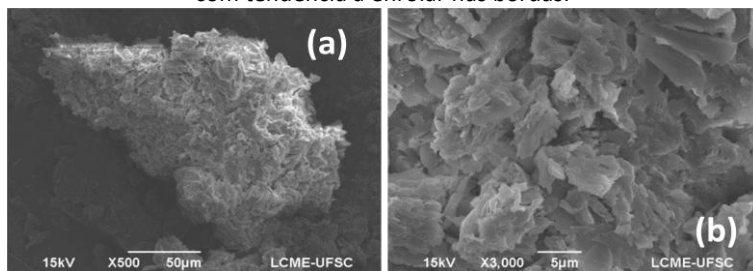
Figura 81 - (a) Cristais irregulares; (b) aumento do espaçamento entre os cristais.



Fonte: Machado, 2012.

Na amostra BB02HC do horizonte C do ponto 02, as imagens revelaram a presença de indivíduos de caolinita independentes e de hábito lamelar (Figura 82). No detalhe é possível constatar a presença de placas muito finas, com tendência a “enrolar” nas bordas.

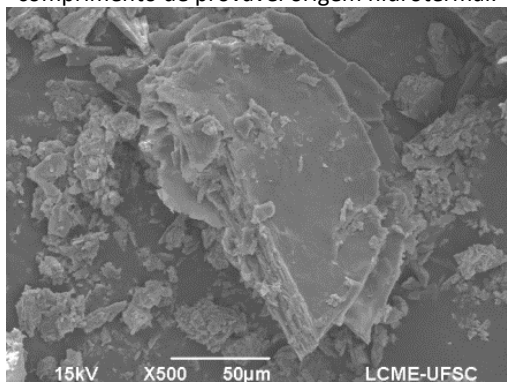
Figura 82 - (a) Cristais de caolinita de hábito lamelar; (b) placas muito finas, com tendência a enrolar nas bordas.



Fonte: Machado, 2012.

Na amostra BB02HC coletada no horizonte C do ponto 02 foram observados cristais lamelares de caolinita de aproximadamente 150 µm de comprimento (Figura 83). Dado o seu tamanho avantajado é provável que sua origem esteja relacionada a um ambiente hidrotermal. Nas proximidades é possível observar indivíduos menores, variando de 5 a 10 µm, sugerindo uma geração distinta ligada a processos intempéricos.

Figura 83 - Cristal lamelar de caolinita de aproximadamente 150 µm de comprimento de provável origem hidrotermal.

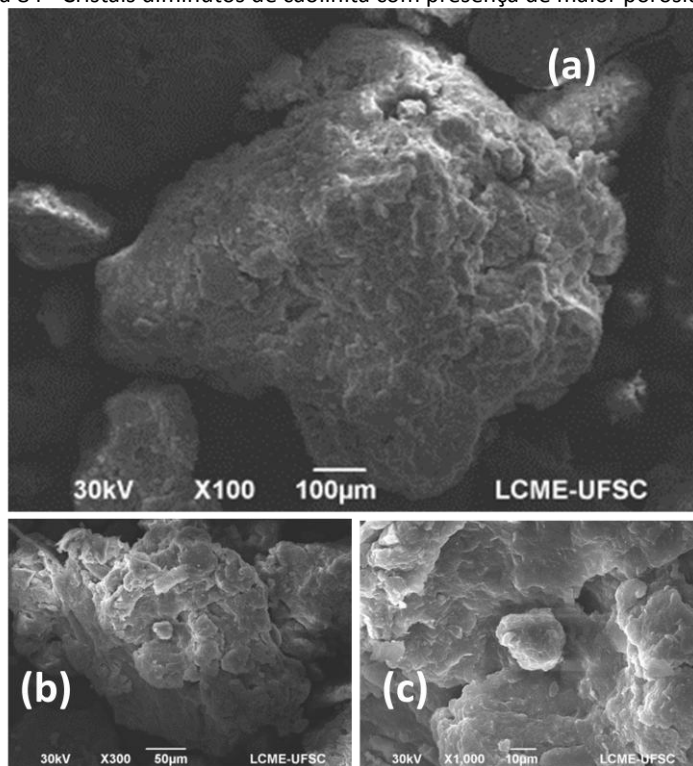


Fonte: Machado, 2012.

As amostras coletadas no Ponto 06 e oriundas do horizonte A (BB06HA); horizonte B (BB06HB) e horizonte C (BB06HC) apresentaram características diferentes daquelas analisadas no Ponto 02.

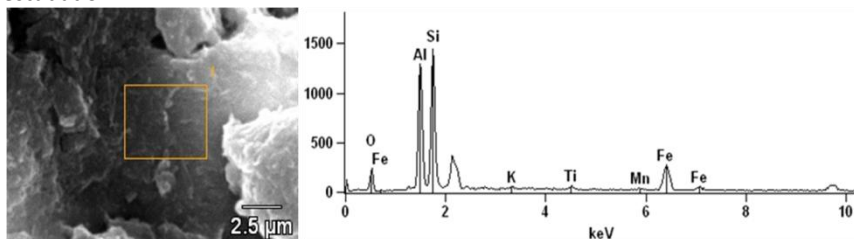
Nas imagens da Figura 84(a, b e c) foram analisados diversos grãos de caolinita provenientes de amostras coletadas de horizonte A (BB06HA). Os cristais de caolinita não apresentam grande desenvolvimento, mas é possível observar um aumento na porosidade. O espectro obtido da microanálise química por energia dispersiva dos elementos constituintes da caolinita no horizonte A do ponto 06 demonstra o predomínio do Al e Si e presença de Fe que atua como pigmento no solo estudado (Figura 85).

Figura 84 - Cristais diminutos de caolinita com presença de maior porosidade.



Fonte: Machado, 2012.

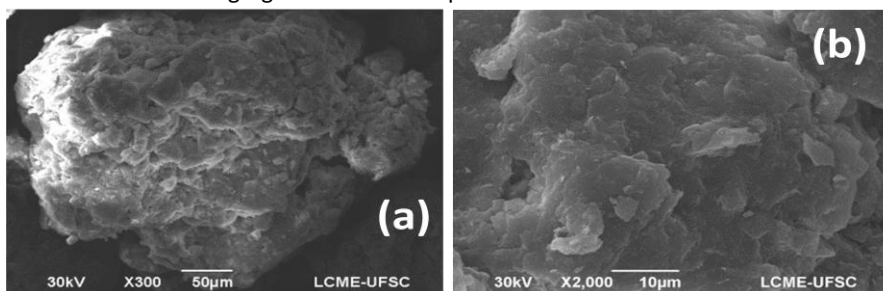
Figura 85 - Espectro da microanálise química por energia dispersiva. Predomínio do Al e Si e presença de Fe que atua como pigmento nos solo estudado.



Fonte: Machado, 2012.

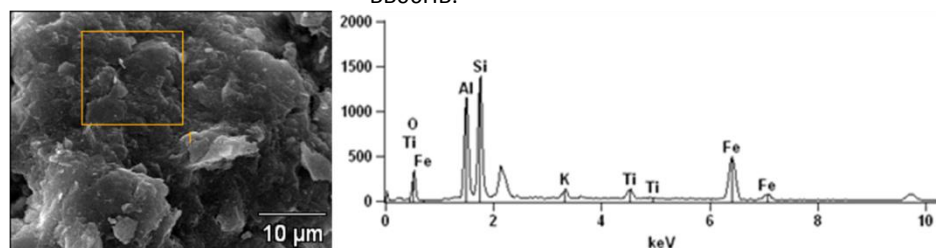
As imagens da amostra BB06HB, representados nas Figura 86 (a e b) revelaram a existência de cristais de forma anédrica a subédrica constituindo agregados equidimensionais que guardam uma estreita relação com o comportamento mecânico deste solo. Igualmente, o espectro da microanálise química corrobora em termos químicos a presença de caolinita (Figura 87).

Figura 86 - Cristais observados na amostra de horizonte B do ponto 06 (BB06HB). (a) e (b) Cristais anédricos a subédricos de caolinita constituindo agregados de forma equidimensional.



Fonte: Machado, 2012.

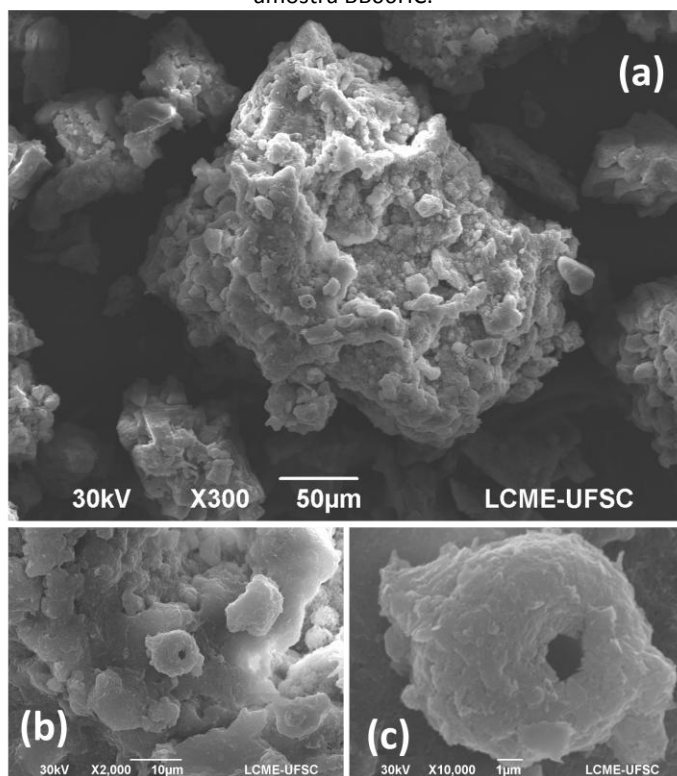
Figura 87 - Espectro da microanálise química por energia dispersiva da amostra BB06HB.



Fonte: Machado, 2012.

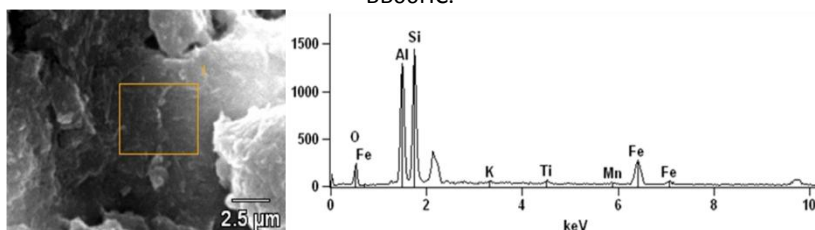
No horizonte C do ponto 06 (amostra BB06HC) observou-se a presença dominante de cristais de forma subédrica de caolinita com formas delicadas e bem preservadas do próprio mineral (Figura 88). (a) Agregado de caolinita em secção basal de forma irregular onde se observam numerosos poros irregulares; (b) detalhe dos agregados e poros irregulares de caolinita; (c) Indivíduos de caolinita formando um agregado de forma cilíndrica e presença de poro tubular no centro do agregado com diâmetro aproximado de 1µm. O espectro da microanálise química indica claramente a composição caolinitica do exemplar analisado (Figura 89).

Figura 88 - (a, b e c). Detalhes dos agregados equidimensionais de caolinita da amostra BB06HC.



Fonte: Machado, 2012.

Figura 89 - Espectro da microanálise química por energia dispersiva da amostra BB06HC.



Fonte: Machado, 2012.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são discutidos os resultados obtidos em diversas etapas dos trabalhos desenvolvidos.

Com relação às condições climáticas e meteorológicas do evento destacamos que durante os meses de setembro, outubro e novembro de 2008 todo o litoral catarinense foi afetado por um sistema de Alta Pressão, localizado no Oceano Atlântico. Atuando como um Anticiclone de bloqueio, este sistema garantiu que o litoral fosse continuamente atingido por chuvas orográficas. Somado a isto, no dia 21/11 um sistema de baixa pressão (vórtice ciclônico) passou a interagir com o sistema já atuante, agravando a condição meteorológica da região, aumentando a intensidade das precipitações. Sendo assim, a combinação da atuação Anticiclone de bloqueio e do vórtice ciclônico favoreceram e intensificaram a ocorrência de eventos extremos como inundações e movimentos gravitacionais de massa, como os ocorridos no bairro Belchior Baixo.

Os trabalhos de campo revelaram que o embasamento cristalino na área de estudada está representando por rochas do Complexo Granulítico Catarinense e por rochas conglomeráticas e arenitos do Grupo Itajaí. As rochas do grupo Itajaí recobrem as rochas do Complexo Granulítico, exceto na porção central da encosta estudada. Em termos tectônicos, a geologia da área estudada apresenta um importante controle estrutural, representado por um conjunto de falhas orientadas no quadrante nordeste que são responsáveis pelo soerguimento do setor central, resultando numa estrutura do tipo *Horst*. Esta estrutura favoreceu o afloramento de rochas granulíticas nesta área.

Com relação aos movimentos de massa que ocorreram na área de estudo é possível observar diferenças no que diz respeito ao tipo de material e comportamento da massa deslizada. O 1º movimento de massa, ocorrido em 23 de novembro, originou-se de material conglomerático. O material mobilizado, que correspondia a cascalho, era de quantidade moderada, apresentou uma velocidade não muito alta e pouco alcance. Os 2º e 3º movimentos de massa (Ponto BB06), ocorridos no dia 02 de dezembro, originaram-se do perfil de alterito de

Gnaiss Granulito. Estes apresentaram quantidade moderada de material deslizado, deslocamento em alta velocidade, porém pouco alcance, de aproximadamente 100 metros. Embora tenham sido originados da mesma litologia, o 4º movimento de massa (Ponto BB02) se diferenciou dos 2º e 3º com relação ao comportamento do material deslizado. A massa movimentada neste evento era composta de grande volume de fluxo de detritos e lama, foi transportada em alta velocidade e por uma distância de aproximadamente 530 metros. Durante os trabalhos de campo foi observado que o ponto de onde se originaram os 2º e 3º movimentos de massa, o perfil de solo era bem menos desenvolvido e menos espesso que o perfil de solo do ponto onde se originou o 4º movimento de massa, que se apresentava bem desenvolvido e composto de espessos pacotes de alterito.

Quadro 1 – Resumo esquemático dos movimentos gravitacionais de massa ocorridos na área de estudo

Movimentos Gravitacionais de Massa na área de estudo		
1º - 23/11 - Conglomerado	2º e 3º - 02/12 – Gnaiss Granulito	4º - 02/11 – Gnaiss Granulito
Média velocidade	Alta Velocidade	Alta Velocidade
Pouco alcance da massa deslizada	Pouco alcance da massa deslizada – 100m	Alto alcance da massa deslizada – 530 m
Cascalho, Quantidade moderada de material.	Quantidade moderada de material	Fluxo de detritos e lama, grande volume de material.
	Perfil de alterito menos desenvolvido, solo de menor espessura.	Perfil de solo bem desenvolvido, espessos pacotes de alteritos.

Fonte: Machado, 2013

Dessa forma, é possível que os movimentos de massa originados do ponto BB06, tenham sido causados pela instabilidade gerada por cortes de taludes realizados para a edificação do galpão da propriedade. Já o grande movimento de massa originado no ponto BB02 ocorreu pelo avançado estado de alteração do gnaiss granulito, que por sua vez tem sua evolução ligada a um sistema fraturado, onde ocorre uma surgência.

O perfil obtido pelo estudo geofísico veio a corroborar os dados levantados nos trabalhos de campo. Os caminhamentos realizados revelaram a presença de solo saturado apenas na área próxima à cicatriz de movimento de massa recente. Analisando também imagens da região é possível identificar que parte inicial dos caminhamentos CE 01 e CE 02 se localizam numa antiga cicatriz de movimento de massa.

A porção oeste do caminhamento (CE 02), onde aparecem baixas resistividades, indicativas de presença de solo úmido, encontra-se na borda de uma cicatriz de movimento de massa recente. A camada de solo apresenta espessura aproximada de 24 metros e neste limite, entre solo e rocha, há uma queda significativa de resistividade, indicando a possível presença de acúmulo de água ou existência de uma zona de fraqueza. Esta queda de resistividade apresentada, juntamente com a configuração que a mesma apresenta no caminhamento e a conformação do relevo, pode inclusive indicar a formação de uma cunha de deslizamento, lateral ao movimento de massa já ocorrido.

Os resultados obtidos nos trabalhos de campo e no levantamento geofísico foram validados pelos estudos de laboratórios realizados por técnicas de Difração de Raios-X e Microscopia Eletrônica de Varredura.

Os difratogramas de Raios X das amostras coletadas nos pontos BB06 e BB02 revelaram a presença grande quantidade de caolinita, no entanto, a cristalinidade deste argilomineral apresentou características distintas. No ponto BB02, onde o material deslizado se constituiu de um grande volume de fluxo de lama e detritos com longo alcance, a caolinita apresentou alta cristalinidade, com picos bem definidos. Enquanto que no ponto BB06, onde a massa deslizada foi em menor quantidade e menor alcance, a caolinita apresentou baixa cristalinidade e na forma de bandas.

As análises obtidas por MEV do ponto BB02 apresentam cristais de caolinita euédrica, de hábito lamelar característico e tamanhos avantajados de até 150 μm . O solo caolínítico formado de indivíduos de hábito lamelar marcante e tamanho avantajado encontrado no flanco leste da cicatriz do deslizamento (amostra BB02) seria responsável pelo grande volume e alcance do material deslizado. Estas características que dizem respeito ao desenvolvimento dos cristais de caolinita

guardam relação direta com a elevada plasticidade e aspecto gelatinoso desses materiais.

As imagens de MEV das amostras do ponto BB06 são representadas por cristais de caolinita anédrico a subédrico, com dimensões inferiores a $5\mu\text{m}$ e constituindo aglomerados equigranulares.

A forma equigranular dos aglomerados de caolinita encontrados neste ponto pode ter sido responsável por gerar um solo mais coeso, e por consequência, quando deslizado este material não apresenta grande alcance.

Quadro 1 – Resumo esquemático dos resultados por Difração de Raios-X e Microscopia Eletrônica de Varredura

BB06 – 2º e 3º Mov. Massa	BB02 - 4º Mov. Massa
DRX	
Abundante caolinita	Abundante caolinita
Cristalinidade baixa	Alta cristalinidade
MEV	
Agregados, presença de poros.	Lamelas isoladas
Dimensões inferiores a $5\mu\text{m}$	Cristais $150\mu\text{m}$
Cristais anédricos a subédricos	Cristais euédricos

Fonte: Machado, 2013

7 CONCLUSÕES

Os trabalhos de campo, as análises de laboratório, o levantamento geofísico e as interpretações deste conjunto de informações permitiram a elaboração das seguintes conclusões:

- A combinação da atuação do sistema de alta pressão e do vórtice ciclônico favoreceu e intensificou a ocorrência de desastres naturais, como enchentes e os movimentos gravitacionais de massa no vale do Itajaí. O longo período de chuvas de duração de aproximadamente um trimestre, causado pelo Anticiclone de bloqueio, resultou na saturação do solo que, encharcado, colapsou sob a ação gravitacional. Este colapso foi desencadeado pela atuação do vórtice ciclônico, que causou precipitação intensa e concentrada em um curto período de tempo.
- A geologia da área estudada apresenta um significativo controle estrutural, representado por falhas orientadas no quadrante nordeste, responsáveis pelo soerguimento do setor central, que resultou numa estrutura do tipo Horst.
- O afloramento de gnaiss granulítico possibilitou a formação de espessos pacotes de alteritos onde os processos de alteração foram mais eficientes.
- Nas áreas com cobertura de conglomerados, os movimentos de massa apresentaram fluxo de velocidade moderada, compostos predominantemente de cascalhos. Este setor está relacionado com os 1º movimentos de massa, que atingiram seu ápice no dia 23 de novembro, apresentaram velocidade moderada e destruíram várias residências da localidade por efeito de carga;
- A falha situada no flanco oeste (Ponto BB06) controla fraturas menores e o perfil do alterito é menos desenvolvido e de menor espessura. Este setor está relacionado com o 2º e o 3º deslizamentos, ocorridos em 02 de dezembro. Estes eram de porte médio e de alta velocidade, e foram responsáveis pelos óbitos; esta parte da encosta apresentava-se menos alterada. É possível que os movimentos de massa tenham sido fortemente influenciados pela instabilidade causada pelos

cortes de taludes destinados à construção do galpão da propriedade. Os dois deslizamentos sucessivos apresentaram deslocamento de material deslizado de aproximadamente 100 metros;

- A falha situada no flanco leste (ponto BB02) controla todo um sistema fraturado, onde ocorre uma surgência que teve um papel preponderante no avançado estado de alteração do gnaiss e espesso pacote de alterito nesta parte da encosta. Este setor está relacionado com o 4º e maior deslizamento, de alta velocidade, ainda ativo. O grande deslizamento originado do flanco leste da cicatriz (ponto BB02) transportou um grande volume de detritos. O material foi transportado por uma extensão de aproximada de 530 metros, chegando até as margens do Rio Itajaí-Açú e foi responsável pela considerável modificação na forma da encosta.
- O perfil obtido pelo levantamento geofísico permite afirmar que a encosta situada logo acima da comunidade de Belchior Baixo situa-se numa parte mais segura e que o plano de ruptura detectado pelo levantamento ocupa um setor que o aproxima à cicatriz do quarto e grande deslizamento. Isto indica que o vale formado pela sucessão de deslizamentos configura uma área de alto risco para a sua ocupação por moradias e que deve estar permanentemente interdita para esta finalidade. Embora o plano de ruptura detectado indique um deslocamento no sentido oeste, o setor da encosta acima da comunidade merece ser monitorada, especialmente em períodos de chuvas mais intensas.
- As variações observadas em escala de afloramento e de comportamento de material deslizado também se retratam nas análises mineralógicas realizadas por DRX e MEV;
- Os difratogramas de DRX do ponto BB06, lado oeste da cicatriz, revelaram a presença de abundante caolinita, cristalinidade baixa, apresentada na forma de bandas, gerando aglomerado, que adquirem formas arredondadas, e provavelmente sejam responsáveis pela maior coesão dos alteritos e menor deslocamento do material deslizado;

- Os difratogramas DRX das amostras do ponto BB02, flanco leste da cicatriz, apresentaram picos bem definidos da caolinita de intensidade marcante e alta cristalinidade;
- Essas características observadas nos difratogramas de DRX foram corroboradas pelas imagens obtidas por MEV. As imagens analisadas das amostras do ponto BB06 são representadas por cristais de caolinita anédrico a subédrico, com dimensões inferiores a 5 μ m e constituindo aglomerados equigranulares.
- As imagens de MEV das amostras do ponto BB02 apresentam cristais de caolinita euédrica, de hábito lamelar característico e tamanhos avantajados de até 150 μ m.
- A forma equigranular dos aglomerados de caolinita encontrados no flanco oeste da cicatriz (amostra BB06) pode ter sido responsável por gerar um solo mais coeso, e por consequência, quando deslizado este material não apresenta grande alcance.
- O solo caolínítico formado de indivíduos de hábito lamelar marcante e tamanho avantajado encontrado no flanco leste da cicatriz do deslizamento (amostra BB02) seria responsável pelo grande volume e alcance do material deslizado. Estas características que dizem respeito ao desenvolvimento dos cristais de caolinita guardam relação direta com a elevada plasticidade e aspecto gelatinoso desses materiais.
- As características climáticas regionais são responsáveis por manter as partes mais profundas dos solos espessos, característicos da região, constantemente saturadas originando, dessa forma, ambientes propícios para novas gerações de caolinita.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disaster in developing countries.

Geomorphology, v. 47, p. 107-124, 2002.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C. Estabilidade de Taludes. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998, p. 243-269.

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991. 332 p.

BOOTH, W. C.; COLOMB, G. G.; WILLIAMS, J. M. **A arte da pesquisa**. São Paulo: Martins Fontes, 2008. cap. 1, 2, 3 e 4.

BORTOLUZZI, C. A. Esboço geomorfológico de Santa Catarina. In: SILVA, L. C.; BORTOLUZZI, C. A. **Texto explicativo para o mapa geológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: DNPM: Secr. Ciência Tecnol. Minas e Energia, 1987. p. 205-217. (Textos Básicos de Geologia e Recursos Minerais de Santa Catarina, 2). Escala 1: 500 000.

BRASIL. Ministério da integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. **Resposta ao desastre em Santa Catarina no ano de 2008**: avaliação das áreas atingidas por movimentos de massa e dos danos em edificações durante o desastre. Florianópolis: CEPED UFSC, 2009.

CALDASSO, A. L. S. et al. **Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil, Brusque, folha SG 22-Z-D-II-1, Santa Catarina**. Brasília: CPRM, 1995. 272 p. Escala 1:50.000.

CARUSO JUNIOR, F. Geologia do cenozóico de Santa Catarina. In: SILVA, L. C.; BORTOLUZZI, C. A. **Texto explicativo para o mapa geológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: DNPM, Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia, Minas e Energia, 1987.

216 p. (Série textos básicos de Geologia e Recursos Minerais de Santa Catarina, 2). Escala 1: 500 000.

CARVALHO, Celso Santos; MACEDO, Eduardo Soares de; OGURA, Agostinho Tadashi. (Org.). **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

CASTRO, N. A. **Contribuição ao conhecimento geológico-metalogenético associado aos granitóides intrusivos no Grupo Brusque (SC) com base em Informações geológicas, aerogamaespectrométricas e landsat/TM-5**. 1997. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

CEPED UFSC. **Banco de imagens 2009**. Florianópolis: CEPED UFSC, 2009.

DAHLIN, T.; ZHOU, B. A numerical comparison of 2D Resistivity Imaging With 10 Electrodes Arrays. **Geophysical Prospecting**, Holanda, v. 52, n. 5, p. 379-398, set. 2004.

DIAS, Maria Assunção F. Silva. **As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos**. Florianópolis: EPAGRI. 2009. Disponível em: <http://www.ciram.com.br/ciram_arquivos/arquivos/gtc/downloads/NotaTecnica_SC.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2011.

EPAGRI. Centro de Informação de recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. **Principais dúvidas a respeito das chuvas intensas em Santa Catarina**. 2008. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/arquivos/portal/noticia/11228220413438718406b42f2bcecfa90b7b38c57c.pdf>. Acesso em: 8 mai. 2012.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológico. In: GUERRA, A. J.T.; CUNHA, S.

B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 372p.

FLORES, J. A. A; PELLERIN, J. R. G. M.; ÉGAS, H. M. Movimentos gravitacionais de massa no município de Gaspar, Vale do Itajaí, SC, na catástrofe de novembro de 2008. Caracterização dos processos por critérios geomorfológicos, geológicos e pedológicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA E APLICADA, 13., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_comp_letos/eixo7/016.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2011.

FRASCÁ, Maria Heloísa Barros de Oliveira; SARTORI, Pedro Luiz Pretz. Minerais e Rochas. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998, p. 15-55.

GANDOLFO O. C. B. **Um estudo do imageamento geoeletrico na investigação rasa**. 2007. 215 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 20 ago. 2010.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavações**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1984. 194p.

GUIMARÃES, R. F. et al. Movimentos de Massa. In.: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

HEIDEMANN, Marcelo. **Caracterização geotécnica de um solo residual de granulito envolvido em uma ruptura de talude em Gaspar – SC**. 2011. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/30118>>. Acesso em: 18 jun. 2012.

HERRMANN, M. L. P.; PELLERIN, J. R. G. M.; SAITO, S. M.
Escorregamentos. In: HERRMANN, M. L. P. (Org.) **Atlas de desastres naturais do estado de Santa Catarina**. Florianópolis: IOESC, 2005. p. 97-100.

HIGHLAND, Lynn M.; BOBROWSKY, Peter. **O manual de deslizamento: um guia para a compreensão de deslizamentos**. Tradução: Paulo R. Rogério. Virginia: USGS, 2008. Disponível em:
<http://www.gfdrr.org/sites/gfdrr.org/files/publication/Deslizamentos_M5DS.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2011.

IBGE. **Cidades**. 2010. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 15 mai. 2011.

IBGE. **Sinopse do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse.pdf>>. Acesso em: 20 agosto de 2011.

KAUL, P.F.T. et al. Projeto gerenciamento costeiro – GERCO. **Mapa Geológico Itajaí**. Florianópolis: IBGE, 2003. 1 Mapa. Escala: 1:100.000.

MELO, M. S. et al. Processos e produtos morfogenéticos continentais. In: GOUVEA, M. C. (Org). **Quaternário do Brasil**. São Paulo: ABEQUA, 2005. p. 258-275.

MENDONÇA, Danni-Oliveira. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do Pacífico. **Revista Climanalise**, São Paulo, ano 3, n. 1, 2005. Disponível em:
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/Artigo_Aquecimento_0805.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2012.

MONTEIRO, Maurici A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, Florianópolis, v.16, n.31, p. 69-78, 1995.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 421p.

OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

PHILIPP, R.P. et al. Caracterização litológica e evolução metamórfica da porção leste do Complexo Metamórfico Brusque, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 34, mar. 2004.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral - Subchefia de Estatística, Geografia e Informática. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: AeroFigura Cruzeiro, 1986. 173p.

SANTOS, G.T. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 1997.

SANTOS, Persio de Souza. **Ciência e tecnologia de argilas**. v. 1. São Paulo : Edgard Blücher, 1992.

SCHEIBE. L. F.. A geologia de Santa Catarina – Sinópse Provisória. **Geosul**, Florianópolis, ano 1., n. 1., p. 7-38, jan/jun. 1986.

SEVEGNANI, Lucia; FRANK, Beate. **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política**. Blumenau: Fundação Agência de Água do Vale do Itajaí (SC), 2009. 191p.

SILVA DIAS, M. A. F. S. **As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina**: um estudo de caso visando a melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos. São José dos Campos: INPE, 2009. 67p.

SILVA, L. C; BORTOLUZZI, C. A. **Texto explicativo para o mapa geológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: DNPM/SCTME, 1987. Escala 1:500.000.

SILVA, L.C. O Cinturão Metavulcanossedimentar Brusque e a evolução policíclica das faixas dobradas proterozóicas no sul do Brasil: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 21, mar. 1991.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 15 mai. 2012.

SUGUIO, K. Tópicos de geociências para o desenvolvimento sustentável: as regiões litorâneas. **Bol. Geologia USP**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 1-40, 2003. (Série Didática).

TOMINAGA, L K. et al. (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 1. ed. 2. reimp. São Paulo: Instituto Geológico, 2011. 196p.

UN-DHA; IDNDR. Glossary: Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management. Geneva: UN-DHA, IDNDR, 1992. 83 p.

VELDE, B. **Introduction to clay minerals: chemistry, origins, uses, and environmental significance**. Chapman & Hall, 1992. Disponível em: <<http://catalogue.nla.gov.au/Record/584802>>. Acesso em: 10 jun. 2011.

WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, v. 30, n. 5, p. 377-392, jul./ago. 1922. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/30063207>>. Acesso em: 15 mai. 2012.